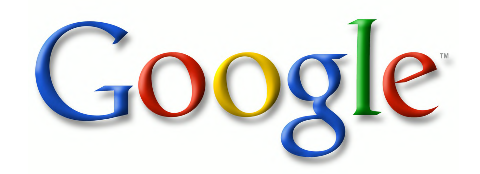




INSTITUTO
GEOLÓGICO DE MÉXICO

BOLETÍN NÚM. 26

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

BOLETÍN.

* Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 21 lám.
* Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S. O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895.—46 pp., 1 lám.
* Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán, por C. Sapper.—1896.—58 pp., 6 lám.
* Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897.—272 pp., 5 lám.
* Núms. 7 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897.—184 pp., 14 lám.
* Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, por R. Aguilar y Santillán.—1898.—158 pp.
* Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana, por José G. Aguilera.—1898.—158 pp.
* Núm. 12.—El Real del Monte, por E. Ordóñez y M. Rangel.—1899.—108 pp., 6 lám.
* Núm. 13.—Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México, por Emilio Böse.—1899.—54 pp., 3 lám.
* Núm. 14.—Las Rhyolitas de México (Primera parte), por E. Ordóñez.—1900.—78 pp., 6 lám.
* Núm. 15.—Las Rhyolitas de México (Segunda parte), por E. Ordóñez.—1901.—78 pp., 6 lám.
Núm. 16.—Los Criaderos de fierro del Cerro del Mercado en Durango, por M. Rangel, y de la Hacienda de Vaquerías, Estado de Hidalgo, por J. D. Villarello y E. Böse.—1902.—144 pp., 5 lám.
Núm. 17.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, completada hasta 1904, por R. Aguilar y Santillán.—1908.—XIII-330 pp.
Núm. 20.—Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco, por el Dr. E. Böse.—1905.—116 pp., 9 lám.
Núm. 21.—La Faune Marine du Trias Supérieur de Zacatecas par le Dr. C. Burckhardt avec la collaboration du Dr. S. Scalia.—1905.—44 pp., 8 pl.
Núm. 22.—Sobre algunas faunas terciarias de México, por el Dr. E. Böse.—1906.—96 pp., 12 lám.
Núm. 23.—La faune jurassique de Mazapil, Zac., par le Dr. C. Burckhardt.—1906.—216 pp., 43 pl.
Núm. 24.—La fauna de moluscos del Senoniano de Cárdenas, S. L. P., por el Dr. E. Böse.—1906.—95 pp., 18 lám.
Núm. 26.—Algunas regiones petrolíferas de México, por el Ing. J. D. Villarello.—1908.—120 pp. 3 lám.

PARERGONES.

* Tomo I. Nº 1.—Los temblores de Zanatepec, Oaxaca.—Estado actual del Volcán de Tacaná, Chiapas, por Emilio Böse.—1903.—25 pp., 4 lám.
* Nº 2.—Fisiografía, Geología é Hidrología de los alrededores de La Paz, Baja California, por E. Angermann.—El área cubierta por la ceniza del Volcán de Santa María, Octubre de 1902, por Emilio Böse.—1904.—26 pp., 3 lám.
Nº 3.—El Mineral de Angangueo, Michoacán, por E. Ordóñez.—Análisis de una muestra de granate del Mineral de Pihuamo, Jalisco, por J. D. Villarello.—Apuntes sobre el Paleozoico en Sonora, por E. Angermann.—1904.—34 pp., 2 lám.
Nº 4.—Estudio de la teoría química propuesta por el Sr. Andrés Almaraz para explicar la formación del petróleo de Aragón, México, D. F., por J. D. Villarello.—El fierro meteórico de Bacubirito, Sinaloa, por E. Angermann.—Las aguas subterráneas de Amozoc, Puebla, por E. Ordóñez.—1904.—24 pp., 1 lám.
Nº 5.—Informe sobre el temblor del 16 de Enero de 1902 en el Estado de Guerrero, por los Dres. E. Böse y E. Angermann.—Estudio de una muestra de mineral asbestiforme procedente del Rancho del Ahuacatillo, Distrito de Zinapécuaro, E. de Michoacán, por el Ing. J. D. Villarello.—1904.—26 pp.
Nº 6.—Estudio de la hidrología subterránea de la región de Cadereyta Méndez, E. de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarello.—1904.—58 pp., 2 lám.
Nº 7.—Estudio de una muestra de grafita de Ejutla, Estado de Oaxaca, por el Ing. J. D. Villarello.—Análisis de las cenizas del Volcán de Santa María, Guatemala, por el Ing. E. Ordóñez.—1904.—26 pp.
Nº 8.—Hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarello.—1905.—56 pp., 3 láminas y 2 figuras.
Nº 9.—Los Xalapazcos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Primera parte).—1905.—54 pp., 1 plano y 4 lám.
Nº 10.—Los Xalapazcos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Segunda parte).—1905.—45 pp., 3 planos y 8 lám.
Tomo II.—Nº 1.—Explicación del Plano Geológico de la Región de San Pedro del Gallo, Estado de Durango, por el Dr. Phil. Ernesto Angermann.—Sobre la Geología de la Bufa, Mapimí, Estado de Durango, por Ernesto Angermann, Dr. Phil.—Notas Geológicas sobre el Cretáceo en el Estado de Colima, por el Dr. E. Angermann.—1907.—35 pp., 3 lám.
Nº 2.—Sobre algunos fósiles pleistocénicos recogidos por el Sr. Dr. E. Angermann, en la Baja California, por el Dr. E. Böse.—Sobre la aplicación de la Potasa cáustica á la preparación de fósiles, por Emilio Böse y Victor von Vigier.—Sobre las rocas fosforíticas de las Sierras de Mazapil y Concepción del Oro, Zacatecas, por el Dr. Carlos Burckhardt.—1907.—31 pp., 1 lám.
Nº 3.—El Volcán Jorullo, por el Ingeniero de Minas Andrés Villafaña.—1907.—58 pp., 8 lám.
Números 4, 5 y 6.—El temblor del 14 de Abril de 1907, por el Dr. Emilio Böse, é Ingenieros A. Villafaña y J. García y García.—1908.—124 pp., 43 lám. y 1 cuad.
Nº 7.—El Valle de Cerritos, Estado de San Luis Potosí, por el Ing. Ezequiel Ordóñez, p. 263-273.—Fuente termal en Cuitzeo de Abasolo, Estado de Guanajuato, por el Ing. Andrés Villafaña, p. 277-287, láminas LVI y LVII.—1908.
Núm. 8.—Estudio hidrológico de la región de Rioverde y Arroyo Seco, en los Estados de San Luis Potosí y Querétaro, por el Ing. Trinidad Paredes, p. 289-337, lám. LVIII.—1909.

* Agotado.

SECRETARÍA DE FOMENTO, COLONIZACIÓN É INDUSTRIA

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

DIRECTOR, JOSÉ G. AGUILERA

ALGUNAS REGIONES PETROLÍFERAS DE MÉXICO

POR

JUAN D. VILLARELLO

Ingeniero de Minas

(CON TRES LÁMINAS)



MÉXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

Callejón de Betlemitas núm. 8

1908

INDICE

LAMINAS

ERRATAS

Página 6, en la nota, ***dice:*** **"chapopote;"** ***léase*** **"chapapote."**
Página 28, última línea, ***dice:*** **y sus,** ***léase*** **y aun.**
Página 39, línea 11, ***dice:*** **cubren la mayor,** ***léase*** **cubren en la mayor.**

INTRODUCCION

A principios del año de 1902, fuí comisionado por el señor Director del Instituto Geológico de México, para estudiar, por acuerdo de la Secretaría de Fomento, las manifestaciones petrolíferas superficiales de los Estados de Tamaulipas y San Luis Potosí; y las de los Cantones de Ozuluama, Tuxpan y Papantla, del Estado de Veracruz. Más tarde, en 1904, fuí comisionado, también por el Instituto Geológico de México, para estudiar la región petrolífera del Istmo de Tehuantepec, en donde comenzaban entonces las exploraciones que ha hecho la casa S. Pearson and Son Ltd. Al concluir mis estudios, tanto en una como en otra región, rendí los informes correspondientes, informes de los que tomo ahora los datos principales para escribir el presente Boletín.

La zona que estudié al desempeñar la primera comisión — antes mencionada, — es bastante grande. En efecto, esa zona está limitada al Este, por el Golfo de México, comienza al Norte en Ciudad Victoria y Soto la Marina, para terminar al Sur en Teziutlán, del Estado de Puebla; y se extiende al Poniente: en el Estado de Tamaulipas, hasta la Sierra Madre Oriental; en el Estado de San Luis Potosí, hasta Jilitla; y de Tantoyuca hasta Papantla, en el Estado de Veracruz.

El objeto principal de mis excursiones por las zonas antes mencionadas, y con especialidad de la que hice el año de 1902, fué resolver algunas cuestiones industriales relativas al petróleo, resoluciones que debían darse en el menor tiempo que fuera posible. Esta urgencia me impidió hacer un estudio geológico detenido, y tomar todos los datos necesarios para escribir una monografía detallada; y como después no he podido completar personalmente esos datos, pues no he vuelto por aquellas regiones, no puede considerarse el presente estudio ni como completo, ni como definitivo. Ade-

más, en las épocas en que yo visité las regiones petrolíferas antes mencionadas, eran muy pocas las perforaciones exploradoras que se habían hecho en esas zonas; y por lo tanto, eran pocos los datos industriales que entonces podían obtenerse. La mayor parte de las perforaciones no producían petróleo de ninguna especie; y en otras había necesidad de hacer uso de bombas, para extraer un producto bastante pesado, muy pobre en aceites iluminantes, de base asfáltica, y que se obtenía en muy pequeña cantidad.

Posteriormente á mi visita por las zonas mencionadas, se han abandonado muchas de las perforaciones que yo conocí; y en cambio, se han abierto otras varias, algunas de las cuales han alcanzado éxito comercial. De estas nuevas perforaciones me han sido proporcionados, espontáneamente, muchos datos; pero de éstos sólo he aceptado los que me han parecido más verosímiles, é indicaré cuáles son estos nuevos datos al ocuparme de cada región petrolífera.

Con objeto de hacer más clara la descripción de la zona petrolífera que he estudiado, la divido en siete regiones, que designaré con los siguientes nombres: San José de las Rusias, Aquismón, El Ebano, Tantoyuca, Tuxpan, Papantla y el Istmo de Tehuantepec. A cada una de estas regiones petrolíferas les consagraré un capítulo especial, después de indicar algunos datos históricos relativos al petróleo en México.

Los hidrocarburos líquidos obtenidos hasta hoy en las regiones petrolíferas antes mencionadas, y aun por las perforaciones que han alcanzado mayor éxito comercial, se encuentran más ó menos evaporados, oxidados ó sulfurados; y por lo tanto, el producto que sale por los pozos, es bastante pesado, escaso en aceites iluminantes, es de base asfáltica y de color negro. Este producto es conocido en México con el nombre de "chapopote,"[1] nombre que aceptaré en todo este estudio, porque creo impropio llamar "petróleo crudo" al resultado de la evaporación, oxidación ó sulfuración de un petróleo, es decir, al residuo que queda de un petróleo crudo, cuando ha perdido éste la mayor parte de los hidrocarburos ligeros ó aceites iluminantes que contenía.

La resinificación del petróleo y su transformación en "chapopote," es debida principalmente á la diminución en el petróleo de la "petrolena," que es el disolvente natural de la "asfaltena;" y como la "petrolena," va desapareciendo por evaporación, por oxidación ó por sulfuración del petróleo crudo, á medida que este último vaya teniendo mayor cantidad de oxígeno ó de azufre, irá perdiendo su fluidez hasta llegar á endurecerse, irá

1 La palabra "chapopote" no es usada en la mayor parte de las regiones petrolíferas de México.

disminuyendo su contenido en aceites ligeros, é irá aumentando, de una manera notable, su peso específico. Según esto, la consistencia de un chapopote indica el grado de alteración en que se encuentra su mayor ó menor oxidación ó sulfuración; y, por lo tanto, creo conveniente distinguir en este estudio tres clases principales de chapopote: fluido, viscoso y duro.

Los manantiales de chapopote (seepages), son conocidos en México con el nombre de "chapopoteras," y este nombre será el que emplearé en todo este estudio.

Como últimamente se ha tratado de revivir una teoría antigua relativa á la formación del petróleo, y como según esta teoría el azufre y las aguas sulfurosas superficiales, podían considerarse como manifestaciones del petróleo del subsuelo, he creído conveniente dedicar un capítulo al estudio del origen del petróleo y de su asociación con otros minerales.

Como para hacer la mejor exploración de una región petrolífera, es necesario conocer la distribución probable del petróleo en el subsuelo, he dedicado al estudio de esta importantísima cuestión un capítulo especial, y otro á la importancia relativa y exploración de las regiones petrolíferas descritas.

Por último, indicaré en otro capítulo los resultados obtenidos al hacer los análisis de las muestras de chapopote que recogí en las diversas regiones petrolíferas, al estudio de las cuales está dedicado el presente Boletín.

BOSQUEJO HISTORICO

Antes de hacer la descripción de las regiones petrolíferas que he visitado, me parece conveniente indicar algunos datos históricos relativos al petróleo en México.

Hasta hoy están muy poco exploradas las regiones petrolíferas de México; pero como se verá en seguida, hace mucho más de treinta años que se conocen las localidades en donde existen manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo.

En 1872, John C. Spear escribió una interesante Memoria relativa al Istmo de Tehuantepec, que tituló "Report on the Geology, Mineralogy, Natural History, &c., of the Isthmus of Tehuantepec,"[1] y en la cual menciona las manifestaciones petrolíferas conocidas con los nombres de Chapo y San Cristóbal, chapopoteras situadas cerca del río Coachapan. Esta región, como se verá después, ha sido explorada por la Compañía S. Pearson & Son Ltd.

En Marzo de 1878 los periódicos de Veracruz y el *Minero Mexicano*, publicaban la noticia referente á la existencia de manantiales de petróleo en los Cantones de Minatitlán y Tuxpan, diciendo que en este último lugar brota el chapopote en distintos puntos, y en parte derrama para la laguna de Tampamachoco. Estas últimas chapopoteras son las conocidas hoy con el nombre de Chapopotito de los Martínez.

En la Exposición de la Secretaría de Hacienda de 15 de Enero de 1879, en respuesta á los conceptos emitidos por Mr. John W. Foster, en su informe fechado el 9 de Octubre de 1878, se encuentran los siguientes datos relativos á la ubicación de manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en México.

En el Cantón de Ozuluama, del Estado de Veracruz, se menciona la existencia del chapopote: en el lugar llamado El Chapopotillo, de la Municipalidad de Pánuco; en la laguna de Chila; en el Alamo; y en los cerros de la Pez y los Pedernales. Las tres primeras localidades serán mencionadas

1 Reports of Explorations and Surveys, to ascertain the practicability of a Ship-Canal between the Atlantic and Pacific Oceans, by the way of the Isthmus of Tehuantepec. By R. W. Shufeldt. Washington, Gov. Printing Office. 1872.

cuando me ocupe de Tampalache, pues se encuentran en los alrededores de este lugar, y me referiré á los cerros de la Pez y los Pedernales, al hablar de la región petrolífera del Ebano, la cual pertenece, en su mayor parte, á la municipalidad de Pánuco del Estado de Veracruz.

Del Cantón de Tantoyuca se mencionan las siguientes localidades. En Tamelul existe una chapopotera, y la grahamita se halla: en las márgenes del río Tempoal, por el Cristo; en el Paso Real del Capadero, ribera izquierda del río Calabozo, en la Municipalidad de Platón Sánchez; en la hacienda los Venados, de la Municipalidad de Chiconamel; en la margen izquierda del arroyo del Estero; en el arroyo del Muerto, ranchería de Zacatianguis; en la hacienda del Aguacate, Municipalidad de Tempoal, y en la hacienda de Chintepec. De la grahamita de estos lugares me ocuparé al hablar de la región potrolífera de Tantoyuca.

En el Cantón de Tuxpan se mencionan en la misma Exposición las siguientes chapopoteras. Varias en terrenos de la hacienda Chapopote. Otras en terrenos de la hacienda de la Asunción, á orillas de la laguna Tampamachoco. Dos en las cercanías del arroyo que desemboca en el de Agua Nacida. Una cerca de la hacienda llamada Cerro Viejo y otra en el cerro del Chapopote, como á una legua de Santa Teresa. Una en terrenos de la hacienda San Isidro, en la municipalidad de Tuxpan. Otra en terrenos de la hacienda de Solís, municipalidad de Temapache. Otra en el rancho de Palma Real, perteneciente también á esta última municipalidad. Otra en un cerro situado al Norte de Tumbadero, y otra en terrenos del rancho de Piedra labrada. Cinco en terrenos de Juan Felipe, de la municipalidad de Tepezintla. De todos estos lugares me ocuparé al hablar de la interesante región petrolífera de Tuxpan, región que como se ve, es conocida como petrolífera hace ya muchos años y que hasta hoy está muy poco explorada, no obstante que parece ser ella la más interesante de todas las regiones petrolíferas que mencionaré en este estudio.

En el Cantón de Papantla se mencionan los siguientes lugares, en los que existen chapopotes duros: terrenos de la municipalidad del Espinal; el lugar llamado Tupani, que no pude identificar; los ríos de Tecuantepec y Apulco, por el Paso de los Armadillos y el cerro Miradores; el lugar llamado el Naranjal, en terrenos de Tulapilla; el arroyo Coapechapa y los terrenos de Comaltepec y de Jamaya. De estas localidades me ocuparé al hablar de la región petrolífera de Papantla.

En el Cantón de Jalacingo, también del Estado de Veracruz, se menciona la existencia del chapopote en Tlapacoyan y el Quilate. Son estos los chapopotes duros que se encuentran en las márgenes de los ríos María de la Torre y Quilate, situado este último en el lindero de los Cantones de Jalacingo y Misantla.

Por último, en la misma Exposición de la Secretaría de Hacienda, al hablar del Cantón de Minatitlán se dice que existen manantiales de petróleo en los siguientes lugares: "Varios criaderos de petróleo situados, uno en

un arroyo tributario del río Usculia, en la margen Norte; otro en un arroyito de un sitio conocido con el nombre Cerritos de Piedras blancas; otro en un arroyito, cerca del cerrito y remolino de Tecolotepec; otro en las salinas de Otapa; otro en la bajada de Chacalapa; otro en el lugar conocido por San Cristóbal; otro en la isla de Atapa; otro en Barragantitlán, margen derecha del río Coatzacoalcos; otro en la Laja; otro en un paraje del pueblo Ixhuatlán, y otro conocido con el nombre de la Laguna de Alquitrán." De la mayor parte de estas localidades, aunque hoy con nombres distintos, me ocuparé al hablar del Istmo de Tehuantepec, y reservo para ese capítulo la copia del resto de los datos que de Minatitlán proporciona la Exposición tantas veces mencionada, porque estos últimos datos no son completamente exactos.

En Mayo de 1882 el periódico llamado *El Reproductor*, de Orizaba y el *Minero Mexicano*, publicaban la siguiente noticia. "En Tamaulipas, se ha descubierto un criadero de petróleo situado en jurisdicción de Soto la Marina, al N.E. de la hacienda de San José de las Rusias, en una loma que se encuentra como á 400 metros, y corre de Sur á Norte, lindando por el S.W. con el río de Palmas, que pasa á una distancia de 180 metros de la expresada hacienda. Esta chapopotera es conocida ahora con el nombre de Chapopotito, y me ocuparé de ella al hablar de la región petrolífera de San José de las Rusias.

También en 1882 el periódico de San Juan Bautista llamado *La Civilización*, publicó la siguiente noticia: "los manantiales de petróleo descubiertos en San Fernando (Macuspana) y Estancia Vieja, cerca de San Juan Bautista, serán puestos en explotación próximamente por el Sr. Sarlat, que es la persona más interesada en este negocio, y quien trajo ya los aparatos necesarios para abrir el primer pozo en el manantial de Estancia Vieja." En esta región se abrieron entonces varios pozos, y se obtuvo petróleo de muy buena calidad pero en muy pequeña cantidad. De este petróleo remitió á México el Sr. Sarlat unas muestras, que figuraron en la colección mineralógica de la Escuela Nacional de Ingenieros. Después fueron abandonados los referidos pozos; y últimamente, en 1906, fué cuando la Compañía S. Pearson & Son Ltd. comenzó á abrir nuevas perforaciones cerca de los pozos de Sarlat.

En 1898, en el Boletín núm. 11 del Instituto Geológico de México, se mencionan las localidades anteriores y otras más como regiones petrolíferas. Entre estas últimas se citan: Pichucalco, en Chiapas; Pochutla, en Oaxaca; y Tancanhuitz y Valles en el Estado de San Luis Potosí.

Como se ve por los datos anteriores, antes que las Compañías extranjeras comenzaran los trabajos de exploración en la regiones petrolíferas de México, se encontraban ya en distintas publicaciones todos los nombres de los lugares en que existen las principales manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo. Algunos años después comenzaron á explorar esas regiones personas enviadas por Compañías extranjeras que se dedican á la

explotación del petróleo, y aun comenzaron á hacerse algunas perforaciones exploradoras, entre las cuales debo mencionar la primera que se abrió en la hacienda Chapopote cerca de Tuxpan. Estas primeras exploraciones no hicieron venir desde luego al capital extranjero que se ha empleado en la explotación del petróleo en México; pero algún tiempo después se formaron dos Compañías, una inglesa y otra americana, que fueron las primeras que trabajaron en gran escala en dos regiones petrolíferas del país, una situada en Papantla y otra en los límites de los Estados de San Luis Potosí y de Veracruz.

Por el año de 1900 contrataron unos mexicanos, para la exploración subterránea en busca de petróleo, los terrenos de las haciendas llamadas Sabaneta, Tulapilla y Comalteco, del Cantón de Papantla en el Estado de Veracruz. Este contrato, celebrado por un número crecido de años, fué vendido á la Compañía inglesa llamada Mexican Petroleum & Liquid Fuel Co. Litd. Comalteco, Ver., la cual abrió veintitrés pozos que representan una perforación total de 4297.78 metros. En 1901 esta Compañía trabajaba en gran escala en la región de Papantla, y en 1903 trabajó también en la hacienda de Chapopote y en Cerro Viejo, lugares estos pertenecientes al Cantón de Tuxpan, también del Estado de Veracruz; pero no habiendo alcanzado éxito comercial en sus exploraciones suspendió sus trabajos en 1904, y ahora la región de Tulapilla y Comalteco está abandonada.

Antes que la Compañía inglesa anterior comenzará sus trabajos en las regiones mencionadas, ya se habían abandonado los trabajos emprendidos por cuenta del Sr. Manuel Romero Rubio para explotar los chapopotes duros y la grahamita, que en vetillas se encuentra en las márgenes del río Chumatlán cerca del Espinal. Esta zona es la prolongación hacia el Este de la de Comalteco que exploró la referida Compañía inglesa.

En 1901 la Mexican Petroleum Company, Sociedad americana, había comprado ya una gran extensión de terreno perteneciente á las haciendas de Tulillo y Chapacao, por los alrededores del Ebano, en los límites de los Estados de San Luis Potosí y de Veracruz. El 1º de Febrero de 1901 comenzaban los trabajos preliminares á la exploración subterránea de los alrededores del Ebano. Se construyeron casas, oficinas, talleres, etc.; y el 1º de Mayo del mismo año comenzaron á perforarse los pozos que en 1902, época de mi visita á ese lugar, aún estaban en trabajo. Los primeros pozos que se abrieron son los cuatro que se hallan á un kilómetro al Sur de la Estación Ebano, del Ferrocarril Central Mexicano. Estos pozos no alcanzaron éxito comercial, fueron abandonados, y después se abrieron otros más al Sur, algunos de los cuales han sido brotantes. En la actualidad, el chapopote fluido que producen los pozos del Ebano, se emplea como combustible líquido en el Ferrocarril Central Mexicano; y el asfalto obtenido por destilación en la pequeña refinería que existe en el Ebano, se usa en la pavimentación.

La Compañía americana anterior, en 1906, compró un contrato de ex-

ploración de los terrenos de Piedra Labrada y Juan Felipe, y contrató también los terrenos de Cerro Viejo, lugares todos del Cantón de Tuxpan; pero no han comenzado todavía los trabajos de exploración formal de estos terrenos.

Después de haber comenzado los trabajos de exploración las dos Compañías extranjeras anteriores, el Gobierno Mexicano, deseando facilitar y estimular la exploración y explotación del petróleo en México, publicó con fecha 24 de Diciembre de 1901 un decreto del Congreso de la Unión, por el cual se autorizó al Ejecutivo Federal para conceder permisos á fin de hacer exploraciones en el subsuelo de los terrenos baldíos ó nacionales, en los lagos, lagunas y albuferas, que sean de jurisdicción federal, con el objeto de descubrir las fuentes ó depósitos de petróleo, ó carburos gaseosos de hidrógeno que en él puedan existir. El mismo decreto autorizó también al Gobierno Federal para expedir patentes, por virtud de las cuales habían de hacerse las explotaciones de las fuentes ó depósitos de petróleo ó carburos de hidrógeno gaseosos. Para que estas patentes se pudieran expedir, entre otras cosas era preciso que las fuentes ó manantiales descubiertos por el solicitante fueran capaces de producir cada uno cuando menos dos mil litros diarios de petróleo, ó veinte mil litros en el mismo tiempo de carburos de hidrógeno gaseosos de buena calidad, y adecuados para combustible en su estado natural. Los descubridores de petróleo ó de carburos de hidrógeno gaseosos, que de acuerdo con la ley obtuvieran la patente mencionada, gozarían para la explotación de esas substancias de varias franquicias, entre las cuales mencionaré las siguientes. Exportar libre de todo impuesto los productos naturales, refinados ó elaborados que procedan de la explotación. Importar libres de derechos por una sola vez las maquinarias, tuberías, tanques, etc., destinados á la explotación. El capital invertido y los productos de la explotación quedan libres por diez años de todo impuesto federal, exceptuando el timbre. Se concede derecho de expropiar los terrenos de propiedad particular necesarios para el establecimiento de maquinarias y oficinas. Además de las franquicias anteriores, los primeros que en un Estado, ó en los Territorios de Tepic y la Baja California, descubran depósitos ó fuentes de petróleo ó carburos de hidrógeno gaseosos, de manera que cada pozo rinda por lo menos dos mil litros cada veinticuatro horas, gozará del privilegio consistente en que: durante un período máximum de diez años, en una distancia máxima de tres kilómetros alrededor del pozo primitivo en el que se hubiere hecho el descubrimiento, sólo el descubridor tendrá derecho de abrir perforaciones. Las empresas que obtengan patente de explotación estarán obligadas, en cambio de las franquicias que les otorga la ley anterior, á pagar el diez por ciento de las utilidades líquidas, es decir, del importe total de los dividendos que decretaren en favor de los accionistas, y de los fondos de previsión ó de reserva que acordaren separar, en cuanto excedan del tanto por ciento que para la formación de dichos fondos señale el Código de Comercio.

Con las franquicias concedidas por la ley anterior, y con fecha 12 de Mayo de 1906 fueron aprobados por el Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, los contratos celebrados entre el Ejecutivo de la Unión y la Compañía S. Pearson & Son Ltd., para la exploración y explotación de los criaderos de petróleo, ó carburos de hidrógeno gaseosos, existentes en el subsuelo de los lagos, lagunas, albuferas, terrenos baldíos ó nacionales, y aquellos cuyo título de propiedad hubiere expedido el Gobierno Federal con reserva del subsuelo, ubicados en los Estados de Chiapas, Campeche, Tabasco, Veracruz, en el Partido de Valles del Estado de San Luis Potosí, y en el Distrito Sur del Estado de Tamaulipas.

Con las mismas franquicias concedidas por la ley mencionada, de 24 de Diciembre de 1901, se han celebrado contratos entre el Ejecutivo de la Unión y particulares ó Compañías para la exploración y explotación de los criaderos de petróleo ó de carburos de hidrógeno gaseosos existentes en terrenos de propiedad particular, cuyos propietarios autoricen la exploración y explotación. De estos contratos se celebró uno, con fecha 10 de Diciembre de 1907, por diez años, con los Sres. Luis de la Barra y Juan Bringas, para hacer exploraciones en el Departamento de Pichucalco del Estado de Chiapas.

Avanzada ya la exploración que hacían las dos Compañías extranjeras antes mencionadas, comenzó sus trabajos la Compañía S. Pearson & Son Ltd. por el año 1902 en el Istmo de Tehuantepec. En los alrededores de Jaltipan y de San Cristóbal abrió esta Compañía varios pozos, después de haber celebrado con los dueños del terreno los contratos de exploración del subsuelo. En 1904 comenzó á hacer contratos con los dueños de terrenos situados por los alrededores de Sayula, lugar en donde más tarde se hicieron perforaciones sin éxito comercial. En 1905 la misma Compañía contrató terrenos cerca de los antiguos pozos de Sarlat ya mencionados, y comenzó á hacer perforaciones en esa región. En 1906 envió exploradores y geólogos por la región petrolífera de Tuxpan, y después contrató esa Compañía los terrenos del Tumbadero, Tanguijo y Cerro Viejo, y en 1907 abrió perforaciones en Tumbadero, obteniendo chapopote fluido.

Desde 1905 la Compañía Pearson está construyendo una refinería en Minatitlán, refinería que comenzó á trabajar en pequeño á principios de 1908, época en que la misma Compañía contrató el chapopote que producen los pozos abiertos en la región de Cubas, ó Furbero, del Cantón de Papantla, chapopote que se piensa refinar en Minatitlán (Istmo de Tehuantepec).

Tanto la Compañía inglesa que trabajó en Papantla, como la americana que aún trabaja en el Ebano, y la Compañía S. Pearson & Son Ltd., han tenido que hacer considerables desembolsos antes de comenzar á explorar las regiones petrolíferas, y antes de conocer el verdadero valor comercial de esas regiones. Estos capitales se han invertido en comprar terrenos para comenzar la exploración del subsuelo ó en comprar permisos de explora-

ción, es decir, han sido cuantiosos capitales entregados en parte al dueño del terreno, y en parte á las personas que han intervenido en el arreglo de la compra de terrenos ó de permisos de exploración. Estos capitales desembolsados mucho antes de conocer el verdadero valor comercial de los terrenos petrolíferos, y mucho antes también de conocer hechos suficientes en que fundar el éxito de las exploraciones, ha dado por resultado: que la exploración petrolífera en México ha sido sumamente costosa; y que las perforaciones hechas y en general la exploración toda, esté muy lejos de representar los muchos millones de pesos que ha costado á las Compañías exploradoras.

El petróleo, lo mismo que el carbón de piedra, pertenecen en México al dueño del terreno, conforme á la ley de Minería vigente; pero los dueños de terrenos carbonosos se han conformado con recibir del explotador cierta cantidad de dinero por cada tonelada de carbón extraída de sus terrenos, y de este modo se ha facilitado y desarrollado en gran manera la exploración del carbón en el Norte de la República. En cambio, los dueños de terrenos petrolíferos en la costa del Golfo de México han vendido en alto precio lo que aún no se sabe si tiene valor comercial. No se han conformado los expresados dueños con recibir del explotador, sin exponer nada por su parte, un tanto por ciento del petróleo que se extraiga de sus terrenos, y á obligar al explotador á gastar determinada cantidad como mínimum en esa exploración; sino que han tratado de obtener desde luego muy buenas utilidades, ya sea vendiendo sus terrenos á muy alto precio, ó recibiendo considerables sumas de dinero, sólo por conceder el permiso de exploración del subsuelo. Algunos de estos dueños han logrado realizar sus intenciones; pero puede decirse que todos ellos han sido un gran obstáculo para la activa exploración de las regiones petrolíferas del país.

Relativamente con menor capital, según entiendo, la Compañía Furber logró explorar la región petrolífera de Cubas en Papantla, y ha obtenido allí un éxito comercial relativo.

Desde 1900 los Sres. Furber y de la Barra abrieron pozos en el cerro llamado La Mina de Cubas, y en 1905 hicieron allí varias perforaciones. Actualmente se instala una tubería de Cubas para Tuxpan, con objeto de transportar el chapopote de esa región, y llevarlo después á la refinería de Minatitlán; pues la Compañía S. Pearson & Son Ltd. ha comprado toda la producción de los pozos de Cubas.

Además de las exploraciones anteriores, que son las más interesantes, se han hecho en las regiones petrolíferas del país otras varias, como se verá en seguida.

Por el año 1900 una Compañía española perforó en Tanute, cerca de Aquismón, un pozo que alcanzó la profundidad de 138 metros; y como no obtuvo éxito comercial se abandonó ese pozo.

Igualmente fué abandonado el pozo conocido con el nombre de Ojo de Brea, que se halla al pie de la loma Tambacán, en terrenos de Tamelul, en

el Cantón de Tantoyuca del Estado de Veracruz. Este pozo se dice que alcanzó una profundidad de 300 metros, y fué abierto por la Compañía mexicana llamada La Peregrina.

En 1889, cerca de la casa de la hacienda de San José de las Rusias, y entre las chapopoteras llamadas San José y Chapopotito, se abrió un pozo que á poca profundidad alcanzó chapopote fluido, y se abandonó en seguida.

En 1873 se trabajó en la explotación de las vetillas y lentes de grahamita que existen en las márgenes del río Tempoal. En esta localidad se abrió la mina llamada El Cristo, se extrajo alguna cantidad de esa substancia, y después se abandonó la mina por no ser negocio de valor comercial. En la misma época se trabajaron minas por San Juan, Tancanzahuela, &c., también con objeto de extraer grahamita; pero pronto se abandonaron todas esas minas.

En Pochutla, del Estado de Oaxaca, se abrieron en el granito de la localidad varios pozos, los cuales fueron pronto abandonados; pero la exploración la han continuado en ese lugar distintas personas, sin éxito comercial.

Por el año 1901 comenzaron á hacerse algunas exploraciones en Pichucalco, del Estado de Chiapas, y actualmente se activa esa exploración de acuerdo con el contrato que mencioné antes, y que fué celebrado entre el Ejecutivo de la Unión y los Sres. de la Barra y Bringas.

En la parte norte del Estado de Coahuila se han hecho varias perforaciones, algunas de las cuales han cortado pizarras bituminosas; pero la cantidad de carburos de hidrógeno líquidos que contienen estas pizarras es insignificante, y por lo tanto no tienen valor comercial.

En la cuenca de México, en la Villa de Guadalupe, muy cerca y al Norte de la Basílica de este nombre, se abrió por 1882 una perforación de la cual se extrajo insignificante cantidad de petróleo (dos botellas) de muy buena calidad. Este pozo quedó abandonado; pero en 1901 se abrieron otros pozos al pie de la sierra de Guadalupe, por Atzacoalco, pozos por los cuales salió gran cantidad de bióxido de carbono sin vestigios de petróleo.

Por último, en Aragón, cerca de la Villa de Guadalupe, se perforó un pozo en 1904; por este pozo brotó gran cantidad de agua acompañada de bióxido de carbono, y salió también un poco de petróleo, gotas solamente. Repentinamente dejó de brotar el agua en este pozo dos meses después, y quedó abandonado.

Los datos anteriores, aunque están muy lejos de constituir una reseña histórica completa relativa al petróleo en México, creo que dan alguna idea acerca del desarrollo de la industria petrolífera en este país.

Para concluir este capítulo indicaré lo relativo á publicaciones del petróleo en México.

LITERATURA DEL PETRÓLEO EN MÉXICO

Maximino Alcalá.—Criaderos de petróleo de Pichucalco, Estado de Chiapas. *Memorias de la Sociedad Científica "Antonio Alzate."* Tomo XIII, págs. 311 á 326.

Andrés Almaraz.—Estudio é informe sobre el petróleo de Aragón. México. Imp de I. Escalante. 1903. 12 p.

Agustín Barroso.—Memoria sobre la Geología del Istmo de Tehuantepec. *Anales del Ministerio de Fomento de la República Mexicana.* Tomo III, 1897, pág. 273.

John C. Spear.—Report on the Geology, Mineralogy, Natural History, &c., of the Isthmus of Tehuantepec. *Rep. of Expl. and Surveys, to ascertain the practicability of a Ship-Canal,* etc. by R. W. Shufeldt. Washington, 1872, págs. 103-104.

Juan D. Villarrello.—Estudio de la Teoría química propuesta por el Sr. D. Andrés Almaraz, para explicar la formación del petróleo de Aragón, México, D. F. *Parergones del Instituto Geológico de México.* Tomo I, núm. 4, 1904, págs. 95 á 111.

SAN JOSE DE LAS RUSIAS

SITUACIÓN.

En este capítulo me voy á ocupar de las regiones petrolíferas del Estado de Tamaulipas, que son: la de San José de las Rusias como principal; y como secundarias, las del Sabino y Tancasnequi. Por lo tanto, la región que paso á estudiar se extiende: desde el lugar llamado Santa María de las Ovejas, al Sur de Soto la Marina, hasta el río Tamesí, que es el lindero entre los Estados de Tamaulipas y Veracruz; y está limitada al Este por el Golfo de México, y al Oeste por la Sierra Madre Oriental.

La región petrolífera que estudié en Tamaulipas más al Norte, es la que designo con el nombre de San José de las Rusias, por estar comprendida en la hacienda del mismo nombre.

La hacienda de San José de las Rusias está ubicada en el Distrito del Centro del Estado de Tamaulipas; y se encuentra al Sur de Soto la Marina, y al S.E. de Ciudad Victoria, capital del Estado mencionado.

El Ferrocarril Central Mexicano, en su división de Monterrey á Tampico, pasa por la región de que me ocupo; y es la vía de comunicación que liga á estas zonas petrolíferas con Tampico, y con el centro de la República.

Para conocer esta región el mejor itinerario es el siguiente. De Tampico por el Ferrocarril Central á Monterrey se llega á la Estación llamada González. De esta Estación, y á caballo, se sigue por el Cojo, el Barranco y Aldama para la hacienda el Sabino. De aquí, por Carricitos, Jobo, Carrizos y La Guajolota, se llega á San Rafael, rancho que pertenece ya á la hacienda de San José de las Rusias. De San Rafael, por los ranchos llamados San Juanito, la Zamorina, la Encarnación, El Gorrión, el Espinazo, Lavaderos y Santa Olalla, se llega á la casa de la hacienda de San José de las Rusias. A cortas distancias de este lugar se encuentran las chapopoteras llamadas: El Salerito, El Chapotito, San José, Palo alto y el Divisadero. De San José de las Rusias se regresa por las lomas llamadas Tierritas Blancas, y por el rancho Sombrerito para el de San Rafael. De San Rafael, por Lagarto, rancho la Corona, hacienda Santa María, La Azufrosa, los Estribos y hacienda el Cojo, se regresa á la Estación González. Para tener idea

de las distancias que separan á los lugares que acabo de mencionar, véase la Lám. I adjunta. Por último, de la Estación Altamira del ferrocarril antes mencionado se puede ir á caballo para el rancho Jopoy, en terrenos de Tancasnequi, y visitar la laguna llamada la Culebra, que está situada en la margen izquierda del río Tamesí. En toda esta región, que comprende al Distrito del Sur y la mitad del Distrito del Centro del Estado de Tamaulipas, se encuentran manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo.

Topografía.

En la región de que me ocupo se encuentran tres serranías casi paralelas, con rumbo 30° N.W. y son: al Poniente, la Sierra Madre Oriental, que se prolonga al Sur para el Estado de San Luis Potosí; al Oriente, la Sierra de San José de las Rusias; y en medio de las sierras anteriores se encuentra la llamada de Tamaulipas. Entre esta última y la Sierra Madre Oriental pasa el ferrocarril de Tampico para Ciudad Victoria y Monterrey; y entre la Sierra de San José y la de Tamaulipas se extiende un lomerío, que al Sur termina en el rancho La Guajolota, y al Norte llega hasta Soto la Marina. Más al Norte de este último lugar, tanto la sierra de Tamaulipas como la de San José se transforman en un lomerío bajo, y poco á poco se van perdiendo.

Al Sur del rancho La Guajolota; y entre Carrizos y Aldama, se encuentran los cerros llamados: el Cautivo; el Perro; San Pedro; las Calaveras; los Granadillos, cerca de la hacienda de Santa María; el Placeta; y los de Aldama, que se encuentran en los alrededores de la villa de este último nombre.

Al Sur-Poniente de Aldama, y no muy distante de la hacienda El Cojo se levanta majestuoso el elevado pico llamado Bernal, pico visible desde largas distancias, y es el que alcanza mayor altura en toda esa región.

De la hacienda del Cojo hacia el Norte el terreno desciende para el Barranco, Aldama, el Sabino y el Espinazo hasta San José de las Rusias, lugar que se halla solamente á 40 metros sobre el nivel del mar.

El lomerío que se extiende entre las sierras de Tamaulipas y de San José está surcado por muchos pequeños arroyos, que descienden del Poniente hacia el Oriente, y que son conocidos en la localidad con el nombre de "rayas." Entre estos pequeños arroyos puedo mencionar á los llamados: Santa Gertrudis, La Curtiduría, Lavaderos, Las Palmas, El Nopal y Los Cuates.

Entre Zamorina y San José el relieve del terreno es muy poco accidentado, es un lomerío muy bajo, en el cual se encuentran como principales las siguientes lomas. De Norte á Sur: San José, Cruces, Salerito, Alto de Ebanos, Santa Gertrudis, El Cortado, Los Cerritos y Zamorina. De Oeste á Este, ó sea, de la sierra de Tamaulipas para la de San José, las lomas

principales son las siguientes: Palo verde, El Fierro, El Mitote y La Minita.

Hacia el Poniente de la Encarnación se encuentran los cerros aislados llamados La Peña ó Gordo, el Plateado, el Platanar; y al Sur–Poniente de la Encarnación se levanta el cerro picudo llamado las Yucas.

La villa de Aldama está situada entre los dos ríos llamados: el Azufroso y el Salitre; ríos que descienden de la parte Sur de la Sierra de Tamaulipas, se reunen al Oriente de Aldama, y ya unidos bajan para Chavarría, en donde desembocan para el Golfo de México.

La sierra más elevada en esta región es la Sierra Madre Oriental, la cual presenta una forma muy accidentada debida á influencias tectónicas principalmente. La sierra de Tamaulipas, mucho menos elevada que la Sierra Madre, es también de forma muy accidentada, debido esto á influencias genéticas, pues está constituída por conos y corrientes de rocas basálticas. La sierra de San José, así como el lomerío que se encuentra al Poniente de esta última son de formas más ó menos arredondadas.

En los alrededores de Aldama y de las haciendas llamadas Carricitos y Santa María, es muy accidentado el relieve del terreno; pero en cambio, al Sur de estos lugares, del Cojo para el río Tamesí, se encuentra una extensa planicie. En esta planicie y cerca de Tampico se hallan las lagunas llamadas: El Carpintero, Pueblo viejo, Champayan, La Culebra, Chila, etc. Estas lagunas desaguan en el río Pánuco ó en el Tamesí.

Geología de la región.

En la región de que me ocupo se encuentran rocas sedimentarias y también ígneas: las primeras pertenecen al Mesocretácico, al Neocretácico, al Eógeno, al Neógeno y al Cuaternario; y las ígneas son rocas basálticas de especies diferentes, y las cuales se encuentran en conos, en corrientes, y también como intrusivas cortando á las rocas sedimentarias.

La formación mesocretácica está constituída por calizas de color gris en gruesos bancos, con rumbo medio de 18° N.E. y con 31° de echado al N.W. Estas calizas se encuentran fuertemente plegadas y también dislocadas, y constituyen una gran parte de la Sierra Madre Oriental, la cual se extiende del Distrito de Tula, pasando por la parte Poniente de los Distritos del Sur y del Centro del Estado de Tamaulipas, para entrar después al Estado de Nuevo León.

El Neocretácico está constituído por pizarras y areniscas con rumbo variable entre 18° y 25° N.E., y con echados al N.W. El Neocretácico se encuentra en la Sierra Madre Oriental cerca de Ciudad Victoria, por la barranca El Novillo, y en otras varias localidades de la misma Sierra Madre.

Las formaciones cretácicas anteriores se prolongan hacia el Sur, y penetran al Estado de San Luis Potosí: por la sierra de Temapache para Jili-

tla; y al Poniente de Tulillo, para la zona comprendida entre Valles y Taninul.

La Sierra de San José de las Rusias está constituída por calizas de Nummulitas, de color amarillo, calizas que pertenecen al Eógeno y que se extienden: al Norte, hasta las cercanías de Santa María de las Ovejas; al Oeste se prolongan por la planicie de San José; al Este se pierden debajo del Cuaternario y formaciones recientes de la playa; y al Sur llegan hasta la base de la misma sierra de San José. Como localidad fosilífera en estas calizas amarillas debo citar especialmente: la zona de la sierra de San José conocida con el nombre de "Subida alta de Buenavista," al Este del rancho San Rafael ya mencionado.

Entre la sierra de San José y la de Tamaulipas se encuentra el lomerío antes indicado, y toda esta zona está formada por capas de calizas areniscas y margas, con rumbos variables entre 30° N.E. y 30° N.W., y con echados de 8° á 17° al S.E. ó al N.E. Estas capas pertenecientes al Eógeno, forman pliegues suaves, á veces en cruz, estando orientados los ejes de estos últimos: uno con rumbo 20° N.W., y el otro E.W.; siendo los echados de las capas 10° al N.E. y 12° al Sur. Estos pliegues en cruz forman bóvedas poco levantadas y de pendientes suaves. La formación anterior se extiende: al Este, por la sierra de San José; al Poniente, hasta la base de la sierra de Tamaulipas; al Norte, continúa para El Lobo y Chachalacas; y al Sur, llega hasta el rancho llamado La Guajolota, en donde se encuentran ya las rocas basálticas. La formación neógena, constituída por pizarras arcillosas, se encuentra entre la sierra de Tamaulipas y la Sierra Madre Oriental, por las cercanías de Escandón, y está limitada: al Norte, por los basaltos que se encuentran en San Francisco; al Este, por los basaltos de los alrededores de Aldama; al Oeste, por la Sierra Madre; y al Sur se prolonga por Jopoy, Tancasnequi y el Ebano, para los Estados de San Luis Potosí y de Veracruz.

Al Este de la sierra de San José y prolongándose hacia el Sur, por Altamira para Tampico, se encuentra el Cuaternario, y las formaciones recientes de la playa.

Las rocas ígneas que se hallan en esta región son: basaltos en Aldama, El Sabino y San Francisco; basaltos micáceos en Bernal; y basaltos de nephelina en Chapotito, cerca de San José de las Rusias. Esta formación ígnea comienza en el elevado y pintoresco Pico de Bernal, y aflora después del cerro Placeta para la sierra de Tamaulipas, extendiéndose al Poniente por San Francisco para la Sierra Madre Oriental. Hacia el Este las rocas ígneas mencionadas afloran en una ancha zona que se desprende de la sierra de Tamaulipas para el Este hasta el mar; y que llega por el Norte hasta el rancho La Guajolota, y por el Sur hasta la hacienda el Sabino y la villa de Aldama.

La mayor parte de la sierra de Tamaulipas está constituída por basaltos, roca que en algunos lugares se halla cubierta por brechas y tobas tam-

bién basálticas. Los basaltos son de color negro, de textura maciza ó ampollosa; las brechas son de color rojizo; y las tobas basálticas son blancas ó amarillentas.

Los basaltos se encuentran formando conos en la sierra de Tamaulipas; ó constituyen extensas corrientes, como las que se hallan por los alrededores de la hacienda Santa María y por el rancho de La Guajolota; ó son en parte intrusivos y afloran en varios lugares, sobre todo en las cercanías de las chapopoteras de esta región petrolífera. Como ejemplos de estos últimos puedo citar entre otros los siguientes: el que se encuentra en el arroyo de los Cuates; el que aflora en las cercanías de la chapopotera llamada el Chapotito, en San José de las Rusias; los que se encuentran en las lomas llamadas Tierritas Blancas, al S.W. de San José; y los que están cerca de las chapopoteras conocidas con los nombres de Palo Alto, Divisadero, Espinazo y Gorrión.

Los basaltos anteriores cortan á las margas apizarradas y á las areniscas, estando metamorfoseadas estas rocas en la zona de contacto con la parte intrusiva de los basaltos.

La intrusión de los basaltos en las rocas sedimentarias que contienen á los receptáculos petrolíferos subterráneos (oil pools) de la región de San José de las Rusias, facilitó la emigración de los hidrocarburos de la profundidad á la superficie del terreno. En efecto, esas intrusiones basálticas cortaron á las rocas sedimentarias, formando una especie de barreras subterráneas, más ó menos impermeables; y en el contacto entre las rocas sedimentarias y las intrusivas basálticas quedó constituída una zona permeable por la cual pueden circular más ó menos fácilmente los hidrocarburos que emigran de la profundidad para la superficie del terreno. Los hidrocarburos al emigrar de sus receptáculos subterráneos por los planos de estratificación, y por las fracturas de las areniscas y margas apizarradas, encuentran un trayecto fácil para su movimiento ascensional, al llegar á la zona de contacto entre esas rocas sedimentarias y los basaltos que las cortan. Estas partes intrusivas de los basaltos, á la vez que impiden el movimiento lateral de los hidrocarburos, los obligan á continuar su circulación ascendente siguiendo la zona de contacto antes mencionada, que es la de mayor permeabilidad relativa. Además, como las rocas sedimentarias eogénicas y neogénicas de esa región están casi horizontales, son muchas las capas cortadas por los basaltos; y como por los planos que separan á estas capas se verifica en gran parte la emigración de los hidrocarburos, al cortar los basaltos á muchos de estos planos han facilitado la emigración de los hidrocarburos contenidos en las varias lentes petrolíferas, que estén comunicadas con los referidos planos de estratificación. Según esto, la presencia de manantiales de chapopote en las cercanías del contacto entre las rocas sedimentarias y las intrusivas de la región, indica la preseucia en el subsuelo de receptáculos petrolíferos más ó menos cercanos de las mencionadas rocas intrusivas. En este caso, las perforaciones en las cercanías de las zonas de contacto entre

las rocas intrusivas y las sedimentarias, tendrán muchas probabilidades de cortar uno ó varios de los conductos de emigración de los hidrocarburos, y aun de cortar también á algún receptáculo petrolífero secundario; es decir, á algún depósito subterráneo formado por la acumulación de los hidrocarburos que emigran de los receptáculos primitivos lejanos, y que se reunen en lugares favorables, situados en las cercanías de las zonas de contacto antes mencionadas. Por estos motivos, las referidas perforaciones tienen probabilidades de alcanzar éxito industrial. En cambio, cuando en las referidas zonas de contacto, que por las razones indicadas son las más favorables para la emigración de los hidrocarburos, no se encuentren manantiales de chapopote, es probable que á la profundidad no se encuentren tampoco receptáculos petrolíferos cercanos á estas zonas; y por lo tanto, en este caso las perforaciones cercanas á las referidas zonas no tienen probabilidades de alcanzar éxito comercial.

En la región de San José de las Rusias se observa, como se verá más adelante, que la mayor parte de las chapopoteras se encuentran en las cercanías de la parte intrusiva de los basaltos que afloran en la región en varias localidades.

Después de la eyección de rocas basálticas en esa zona, y como última manifestación de la actividad eruptiva en ella, debo citar el geyser calcáreo ya extinguido que se encuentra en la pequeña loma llamada El Sombrerito. Los basaltos de la región cortaron rocas sedimentarias calizas; y más tarde, las aguas meteóricas calentadas al ponerse en contacto con las partes aún calientes y profundas de la roca basáltica, disolvieron en parte á la caliza por cuyas grietas circularon. Al salir al exterior esas aguas, con un régimen geyseriano, depositaron en la superficie del terreno al carbonato de cal que contenían en disolución, formando el travertino calizo que se encuentra en la loma El Sombrerito, en el lugar por donde brotaron esas aguas. Este travertino calizo está rodeando una oquedad de gran diámetro y de corta profundidad.

Al bajar del rancho el Barranco para la villa de Aldama, se encuentran los basaltos cubiertos en partes por brechas basálticas de color rojo. Los basaltos continúan por Carricitos, la Hoya de Media Luna, el rancho Cabrera, Carrizos y La Guajolota.

De San Rafael por los ranchos San Juanito, El Sombrerito, la Zamorina y la Encarnación, se llega al Gorrión. Toda esta zona está constituída por areniscas y margas apizarradas, cubiertas en muchos lugares por arcilla de color gris. De Zamorina para el Espinazo se encuentran los arroyos llamados de Las Palmas y el Nopal, los cuales se unen y forman el arroyo de Los Cuates. En este arroyo las margas tienen rumbo de 30° N.W. con 17° de echado al N.E.; y están cortadas por el basalto en este lugar.

En el arroyo Las Palmas, las margas tienen 10° N.W. de rumbo, y 10° de echado hacia el N.E.

En la junta de los arroyos llamados Santa Gertrudis y La Curtiduría,

las margas apizarradas tienen 60° N.W. de rumbo, y 10° N.E. de echado; y en el arroyo de Lavaderos, tienen 10° N.W. de rumbo, y 12° de echado al N.E.

En el cerro llamado El Divisadero se encuentran las margas con rumbo 60° N.E. y con 3° de echado al S.E. Estas margas están plegadas suavemente, y se hallan cortadas por basaltos intrusivos hacia la parte Sur del cerro mencionado.

Por Tierritas Blancas y el arroyo el Patito, las margas están cortadas por basaltos.

Al Oriente del rancho Sombrerito se encuentran las margas formando un pliegue en cruz, estando orientados los ejes de este pliegue, uno con rumbo 20° N.W. y el otro E.W., siendo los echados de las capas muy pequeños: 10° hacia el N.E. y 12° hacia el Sur. Este pliegue forma una bóveda poco levantada y de suave pendiente.

Del Sombrerito para el rancho Zamorina se encuentra un conglomerado reciente formado por guijarros calizos.

La hacienda Santa María y los ranchos La Coma y El Lagarto se encuentran sobre basaltos, rocas que continúan en extensa corriente por el arroyo Corocito y el rancho La Guajolota.

En varios lugares, como he dicho, se encuentran sobre los basaltos, brechas y tobas también basálticas.

Estructura general.

La estructura general del Terciario en San José de las Rusias es monoclinal; y aunque las capas que lo constituyen forman pliegues suaves, la inclinación general de estas capas es hacia el Este. En cambio, el Cretácico de la Sierra Madre Oriental está fuertemente plegado, fracturado, y también dislocado.

La estructura monoclinal, y sobre todo el encontrarse las capas terciarias casi horizontales, han impedido las grandes acumulaciones de petróleo en el subsuelo de esta región, como se comprenderá en vista de las razones que indicaré más adelante en capítulo especial.

La estructura monoclinal se observa no sólo en el Eógeno que se encuentra entre las sierras de Tamaulipas y de San José; sino también en el Neógeno que se extiende al Sur de la sierra de Tamaulipas, por Jopoy y Tancasnequi, para los Estados de San Luis Potosí y de Veracruz.

MANIFESTACIONES SUPERFICIALES DEL PETRÓLEO DEL SUBSUELO.

Las manifestaciones petrolíferas se encuentran en el Estado de Tamaulipas en tres zonas, que son: la de San José de las Rusias; la del Sabino y la de Tancasnequi; siendo la primera de mucha mayor importancia que las dos últimas.

La región petrolífera de San José de las Rusias, se encuentra en el lomerío comprendido entre las sierras de Tamaulipas y de San José; y se extiende por el Norte, para el Lobo y Chachalacas, llegando por el Sur hasta La Guajolota. En esta región se hallan las siguientes chapopoteras: San Rafael, el Gorrión, el Espinazo, el Salerito, el Chapotito, San José, Palo Blanco, la Azúcar, el Lobo y las Chachalacas.

La chapopotera llamada San Rafael se encuentra en la falda de una pequeña loma, situada al Este del rancho del mismo nombre; y es la que se halla más al Sur en esta región petrolífera. El escurrimiento de chapopote por este manantial sólo se observa en la época de calor, cuando la temperatura elevada liquida al chapopote sólido que se halla en ese lugar, y así se facilita su salida del interior y su escurrimiento por la superficie del terreno. El escurrimiento superficial en esta chapopotera ocupa poca extensión, y está formado por chapopote duro, que impregna á las margas de ese lugar.

La chapopotera llamada El Gorrión está al Norte de la anterior, y cerca del rancho La Encarnación. Es de muy poca importancia el escurrimiento superficial que ha formado, y el chapopote brota por grietas en las margas.

La chapopotera llamada Sombrerito se encuentra al Este del rancho del mismo nombre, y en la base de una pequeña loma. El chapopote que sale por este manantial es viscoso, y brota acompañado de una poca de agua.

La chapopotera llamada El Espinazo está en el arroyo de Los Cuates, entre los ranchos Encarnación y Lavaderos. En ese lugar hay varios manantialitos por los cuales sale agua acompañada de chapopote viscoso en pequeña cantidad. Este chapopote ha escurrido por el arroyo de Los Cuates, y allí forma un depósito pequeño.

La chapopotera llamada El Salerito se encuentra en una planicie situada á doscientos metros de la loma del mismo nombre. En este lugar hay varios manantiales por los cuales salen pequeñas cantidades de chapopote viscoso, el cual ha formado un escurrimiento de poca extensión superficial. El chapopote brota en este lugar por grietas que cortan á las margas, y á las arcillas superficiales.

Las chapopoteras llamadas San José y el Chapotito están muy cerca de la casa de la hacienda San José de las Rusias, y se hallan en el contacto de las margas apizarradas con la parte intrusiva de un basalto de nephelina, roca que es bastante rara en la República. Tanto en Chapotito como en San José hay tajos abiertos, de cuatro metros de profundidad, en el fondo

de los cuales está el chapopote viscoso, que sale por las grietas de las margas en la zona de contacto con los basaltos intrusivos.

La chapopotera llamada Palo Blanco se encuentra también en el contacto de las margas con basaltos, rocas que afloran en el cerro llamado Divisadero, el cual se halla al Poniente y muy cercano de la chapopotera mencionada. El escurrimiento de chapopote en este lugar es pequeño; y ya está derrumbado un tajo que se abrió para explorarlo y extraer el chapopote viscoso que sale por las grietas de las margas en ese lugar.

Las chapopoteras llamadas: Azúcar, El Lobo y Chachalacas son de poca importancia, y producen muy pequeña cantidad del mencionado hidrocarburo.

Como se ve por lo anterior, es bastante extensa la región petrolífera de San José de las Rusias; y las muchas chapopoteras que allí se encuentran están colocadas en el lomerío que se halla entre las sierras de San José y de Tamaulipas, ocupando una zona que tiene aproximadamente ochenta kilómetros de Norte á Sur, y siete kilómetros de Oriente á Poniente (Véase Lám. I).

En la hacienda el Sabino se encuentran dos chapopoteras: una en el lugar llamado Hoya de la Luna; y otra en el rancho Cabrera, cerca del paso del Mezquite. Estas dos chapopoteras se hallan al N.E. y á seis kilómetros de distancia de la casa de la hacienda llamada el Sabino. Toda esta zona está constituída por basaltos como dije antes; y por lo tanto, el chapopote que pueda encontrarse en esta roca es emigrado de lejos, de la región de San José de las Rusias probablemente, y circula por las grietas del basalto que estén en comunicación con las rocas sedimentarias antes mencionadas. Por esta razón me parece de poca importancia industrial la zona del Sabino, y creo que las perforaciones en las cercanías de estos lugares no alcanzarían éxito comercial.

La zona petrolífera de Tancasnequi, zona que hacia el Sur se prolonga por el Estado de Veracruz, es escasa en manifestaciones petrolíferas superficiales. En efecto, en esta zona, y dentro de los límites del Estado de Tamaulipas, sólo se encuentran pequeñas chapopoteras en el rancho Jopoy, que se halla en terrenos de Tancasnequi, cerca del río Tamesí. En esta misma zona, en terrenos pertenecientes al Estado de Veracruz se encuentran otras chapopoteras, como se verá más adelante; y por lo tanto hablaré de la importancia industrial de esta zona al ocuparme del Estado de Veracruz.

PERFORACIONES

En toda la región de que me he ocupado en este Capítulo sólo existe una pequeña perforación, situada entre las chapopoteras llamadas San José y Chapotito, cerca de la casa de la hacienda de San José de las Rusias. Esta perforación alcanzó chapopote viscoso á los cuarenta metros de profundidad, según me informaron; pero está ya completamente abandonada.

Además de esta perforación existen tajos abiertos de cuatro metros de profundidad, en las chapopoteras llamadas el Chapotito, el Salerito y San José, tajos que hicieron aumentar el rendimiento de chapopote.

Como se ve, es casi nula la exploración que se ha hecho hasta ahora en la región petrolífera de San José de las Rusias; y desde la época de mi visita, 1902, hasta ahora, nada se ha hecho en esa región, que es de relativa importancia industrial.

Es ciertamente sensible que esta región petrolífera esté completamente inexplorada, y que por lo tanto no se posean datos suficientes para juzgar acerca de su verdadera importancia industrial.

Sin embargo, en el informe que rendí en 1902 relativo á San José de las Rusias (pág. 19) decía yo que: existe mucha semejanza entre la región petrolífera de que me estoy ocupando y la del Ebano en San Luis Potosí. En efecto, tanto en una como en la otra los receptáculos petrolíferos subterráneos se encuentran en el Terciario formado por areniscas y margas apizarradas; en las dos regiones se encuentran las anteriores rocas sedimentarias cortadas é inyectadas por basaltos; y en las zonas de contacto entre las rocas intrusivas y las sedimentarias se encuentran las chapopoteras, tanto en el Ebano como en San José de las Rusias. Las perforaciones que se han hecho en el Ebano en las cercanías de las rocas basálticas han encontrado chapopote, y algunas lo han encontrado en cantidad comercial, y según lo anterior, es probable que se obtuvieran resultados semejantes con las perforaciones que se hicieran en la región petrolífera de San José de las Rusias. Creo, en vista de lo anterior, que es muy interesante la exploración de esta última región petrolífera, de cuya importancia industrial me volveré á ocupar más adelante, en el Capítulo que he dedicado al estudio de la importancia relativa y exploración de las regiones petrolíferas descritas en este Boletín.

RESUMEN

Resumiendo los datos anteriores, relativos á la región petrolífera de San José de las Rusias, se puede decir lo siguiente:

La zona petrolífera de San José de las Rusias se extiende: por el Norte hasta los ranchos llamados el Lobo y Chachalacas; por el Sur, hasta La Guajolota; por el Este, hasta la Sierra de San José; y por el Oeste, hasta la sierra de Tamaulipas. Esta zona tiene aproximadamente: ochenta kilómetros de Norte á Sur, y siete kilómetros de Oriente á Poniente.

La región petrolífera está constituída por calizas, margas grises apizarradas y areniscas, rocas que pertenecen al Eógeno y Neógeno.

Las margas y areniscas están cortadas en varios lugares por basaltos.

El Terciario marino de esta localidad tiene estructura monoclinal; y aunque las capas que lo constituyen forman pliegues suaves, y sus bóve-

das poco levantadas, la inclinación general de las capas es de 8° á 17° hacia el Este.

Las principales manifestaciones del petróleo del subsuelo se encuentran en el lomerío comprendido entre las sierras de San José y la de Tamaulipas; y por lo general, en la zona de contacto entre las rocas sedimentarias terciarias y los basaltos intrusivos que afloran en varias partes de la región.

Sólo existe una perforación en esta zona petrolífera. La perforación se encuentra cerca de la casa de la hacienda de San José de las Rusias, entre las chapopoteras llamadas: Chapotito y San José. Esta perforación alcanzó chapopote viscoso á los cuarenta metros de profundidad, y está completamente abandonada.

Los receptáculos petrolíferos subterráneos tienen probablemente la forma de lentes irregulares, de dimensiones relativamente pequeñas; y los hidrocarburos al emigrar de estas lentes circulan por las cercanías del contacto entre las rocas sedimentarias y la parte intrusiva de los basaltos, y salen hasta la superficie del terreno siguiendo el trayecto ascensional ya indicado.

Es probable que las perforaciones situadas en las cercanías de los contactos antes mencionados alcancen éxito comercial, cuando en esas zonas de contacto existan chapopoteras.

Por último, puede decirse que existe mucha semejanza entre la región petrolífera de San José de las Rusias, ubicada en el Estado de Tamaulipas, y la del Ebano, situada en el Estado de San Luis Potosí, y de la cual me ocuparé en uno de los próximos Capítulos.

AQUISMON

SITUACIÓN

Como región petrolífera de Aquismón consideraré principalmente, á la faja de terreno que en la Huasteca Potosina se extiende por el cañón de Tocomón, desde el Tamarindo por Aquismón, para Tanute, Tanchanaco y Tres Arroyos; y referiré á esta región también, el terreno comprendido en las márgenes del río Moctezuma, de Tampamolón para Tanquián, lugares todos pertenecientes al Estado de San Luis Potosí. (Véase lám. II.)

La zona petrolífera de Aquismón se prolonga del río Moctezuma al Este para la región de Tantoyuca, en el Estado de Veracruz, región de la cual me ocuparé más adelante; y al Norte-Oriente está separada de la zona del Ebano por el río Tamuín, conocido más abajo con el nombre de río Pánuco.

Entre la zona de Tampamolón y la de Aquismón se encuentran los cerros de Tancanhuitz, que al S.E. se prolongan para Axtla, y al N.E. para Tancuayalab y Tancuiche. La zona de Aquismón se halla entre los cerros de Tancanhuitz, ya mencionados, y la sierra de Temapache que se levanta al Poniente del cañón de Tocomón.

En la división de San Luis Potosí para Tampico del Ferrocarril Central Mexicano, á 304 kilómetros al Este de San Luis, y á 140 al Poniente de Tampico, está la estación llamada Valles, muy cerca de la población del mismo nombre, cabecera del Partido también de Valles, en el Estado de San Luis Potosí. De este lugar para la región petrolífera de Aquismón hay que caminar á caballo, conforme al siguiente itinerario: De Valles por el puente de la Virgen, la Loma, Rincón de Peñas, en el río Tampaón, Tantisohuiche, Santa Cruz, Tres Arroyos, la Garita, Tanchanaco, Tanute y Aquismón. De aquí, por el rancho Ojitipa se llega á Tancanhuitz. Para completar el estudio geológico de esta parte de la Huasteca Potosina, de Tancanhuitz se sigue por la cuesta Sonsa y el Aguacate para Huehuetlán; y de aquí, por el puerto de Santa Magdalena, Tierras Coloradas, hacienda Huichiguayan y los Cajones, se llega á Xilitla. De Xilitla, bajando por la cuesta del Tamarindo se sigue para Axtla, Tampamolón y Tanquián. Todos los lugares que acabo de mencionar se encuentran en los Partidos de Va-

lles, Tancanhuitz y Tamazunchale, del Estado de San Luis Potosí, Partidos que hacia el Este colindan con el Estado de Veracruz.

La distancia entre la Estación de Valles y Aquismón es de 48 kilómetros, y el camino no es accidentado; pues sólo atraviesa terreno casi plano, y un lomerío de corta elevación.

La zona petrolífera de Aquismón está muy poco explorada, sólo existe en ella una perforación de 138 metros de profundidad, y como se ve no está muy distante de la Estación Valles del Ferrocarril Central Mexicano.

Topografía.

Del Estado de Tamaulipas para el de San Luis Potosí, y con dirección de Norte á Sur aproximadamente, pasan las sierras llamadas: de Tanchipa ó Boca del Abra, hacia el Este; y las de Nicolás Pérez y Colmena al Poniente de la anterior.

Las faldas de la sierra Colmena hacia el Poniente descienden para el río Salto ó Abra de Caballeros, y hacia el Este para el río Mesillas. Estos ríos se reunen al Sur-Este de Micos, y ya reunidos bajan por las cercanías de Valles para el río Tampaón.

Las sierras antes mencionadas se transforman hacia el Sur en el lomerío que se halla en los alrededores de Valles; y más al Sur el terreno, con suave pendiente y poco accidentado, desciende para el río Tampaón. Este río, del Oeste hacia el Este, baja hasta Tamuín, desde donde toma este último nombre; y más abajo, después de recibir como afluente al río Moctezuma, se llama río Pánuco.

Al Sur del río Tampaón, y al Sur-Oeste de Valles, se levanta la sierra de Temapache con rumbo N.E. aproximadamente. Las faldas de esta sierra hacia el Poniente descienden para el río Santa María; al Norte para el río Tampaón; y por el Este y Sur bajan por Tanute, Aquismón y Tocomón.

Al Este de la sierra de Temapache se extiende un lomerío que baja para los ríos Tampaón y Parrodi; y al Sur-Este de la misma sierra se encuentra Tancanhuitz cabecera del Partido de su nombre.

Entre Valles y Tancahuitz se halla solamente el lomerío, que al Norte se une con las sierras de Tanchipa y la Colmena, y al Poniente con la sierra de Temapache. Este lomerío, cortado de Oriente á Poniente por el río Tampaón, desciende al Este para la planicie de Tamuín y el Ebano.

Tancanhuitz está situado á 241 metros sobre el nivel del mar, y desde allí el terreno desciende al Norte, al Este y también al Sur-Este. Hacia el Norte baja por San José y Corrales para el río Parrodi, río que al Este se reune con el Tampaón, y del cual está separado al Poniente por el lomerío bajo que se desprende de la sierra Temapache hacia este rumbo. Al Este y Sur-Este de Tancanhuitz el terreno desciende para Tanquián y Tampamolón, y de este lugar para el río Moctezuma que baja hacia el Norte-Oriente y Norte para desembocar en el río Pánuco.

De Tancanhuitz hacia el Este para Tancuayalab, se extiende un lomerío que separa al valle del río Tampaón situado al Norte, del valle del río Moctezuma situado al Sur del lomerío mencionado.

De Tancanhuitz hacia el Sur-Este se extiende un lomerío para Axtla; y hacia el Sur de Tancanhuitz el terreno se eleva para Huehuetlán y Tierras Coloradas, y de aquí desciende para la hacienda Huichihuayán. Después el terreno se eleva con fuerte pendiente, por las cuestas de los Cajones y del Tamarindo, hasta Xilitla.

De Xilitla hacia el Sur y el Este desciende el terreno para el río Tancuilín. A este río se une el arroyo de Huichihuayán; y después al N.E. de Axtla, desemboca el río anterior en el Moctezuma, el cual desciende como he dicho por Tampamolón y Tanquián para el río Pánuco.

Por último, entre Tancanhuitz y la sierra Temapache se encuentra el cañón de Tocomón. Este cañón, interesante para el presente estudio por encontrarse en él manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo, desciende del Tamarindo, al N.E. de Xilitla, por Tocomón y Aquismón, al Poniente de Tancanhuitz, para Tanute y Tres Arroyos.

Como se ve, el terreno desciende en esta parte de la Huasteca Potosina del Sur y el Poniente para el Norte-Oriente, es decir, de Tancanhuitz y Tancuayalab para Tamuín y el Ebano, y de la sierra de Temapache por el lomerío bajo que se encuentra entre Tancanhuitz y Valles para la planicie también de Tamuín y el Ebano. De Tancanhuitz y Xilitla el terreno desciende hacia el Este para el río Moctezuma, y para los Cantones de Ozuluama y Tantoyuca del Estado de Veracruz.

Geología.

En esta región se encuentran rocas sedimentarias y también ígneas. Las primeras son cretácicas principalmente, y las segundas terciarias. (Véase Lám. II.)

Las capas sedimentarias más antiguas en esta región están constituídas por calizas de color gris, en gruesos bancos, y fosilíferas en algunos lugares, principalmente: en los alrededores de la gruta del Choy, entre las Estaciones de Taninul y las Palmas del Ferrocarril Central; y en las cercanías de Xilitla, en las cuestas de los Cajones y el Tamarindo. Esta caliza constituye al Mesocretácico de la región; y sólo las calizas de las cercanías de Xilitla pertenecen probablemente al Eocretácico.

Sobre las calizas mesocretácicas ya mencionadas, y en estratificación discordante, se apoyan pizarras y margas á veces apizarradas, entre las cuales se intercalan calizas y areniscas con cemento calcáreo. Todas estas capas pertenecen al Neocretácico, y afloran en gran extensión, como se verá más adelante.

Las capas anteriores están cubiertas en varios lugares por formaciones

cuaternarias y recientes, constituídas por arcilla, arena, aluviones de río, y también por conglomerados calizos recientes.

El Mesocretácico ya mencionado aflora en la región de que me ocupo en los siguientes lugares. Del Norte-Poniente de Xilitla, por Tampachal y Pubiche en la sierra de Temapache, al Poniente de Tocomón y Aquismón, para Micos y la sierra Colmena ó Abra de Caballeros. Al Oriente de este afloramiento, y al Este de Valles, aflora el Mesocretácico desde Rancho Nuevo, fracción del llamado Pujal en el río Tampaón, para las Estaciones del Ferrocarril Central llamadas el Abra y las Palmas; y de allí se prolonga para la sierra de Tanchipa. En esta sierra las calizas mesocretácicas están cubiertas en varios lugares por las pizarras y margas neocretácicas, como sucede entre Valles y el Abra. Por último, al Poniente de Valles, y desde este lugar hasta la Estación Cárdenas, se encuentra al Mesocretácico cubierto en partes por las pizarras, margas y calizas neocretácicas.

El Neocretácico aflora al Norte de Xilitla, desde la hacienda Huichihuayán, por Tierras Coloradas, Tocomón, Huehuetlán, Tampamolón, Tancanhuitz, Aquismón y Tanute para Valles. Se extiende al Poniente hasta la base de las sierras de Temapache y de la Colmena, y al Este hasta la sierra Tanchipa ó Boca del Abra.

Las arcillas, arenas y aluviones, se encuentran principalmente entre los ríos Tamuín y Moctezuma, desde donde se reunen estos ríos hasta las cercanías del lomerío cretácico que, de la sierra Temapache y de Tancanhuitz y Tancuayalab, desciende para la planicie de Tamuín y el Ebano. Debajo de estas capas cuaternarias y recientes se encontrarán probablemente por Tamuín las pizarras arcillosas terciarias de que hablaré más adelante, y que constituyen el subsuelo de la región del Ebano.

Las capas mesocretácicas, sobre todo por Cárdenas, Canoas, Espinazo del Diablo y Micos, están muy plegadas formando anticlinales y sinclinales á veces muy cerrados, y asimétricos por lo general. Estas calizas en bancos gruesos tienen un rumbo variable entre 30 y 60° Norte-Poniente, con echado de 60 á 80° al S.W., ó hacia el N.E. con menor pendiente por lo general. Entre los anticlinales notables en esta región puedo citar al que se encuentra en el Espinazo del Diablo.

Las pizarras neocretácicas tienen un rumbo variable entre N.-S. y 25° N.E., con echados de 10 y 20° al Poniente, ó al Norte-Poniente. Estas pizarras están suavemente plegadas, formando á veces pliegues cruzados, bóvedas éstas poco levantadas y de suave pendiente.

En otros lugares como son: Tamaquillo, cercanías de Tocomón y de Huehuetlán, el Aguacate, Tierras Coloradas, &c., las capas anteriores tienen rumbo variable entre 45° N.W. y E.-W., con echados de 5 á 15° al S.W. ó Sur generalmente.

Entre estas capas de areniscas y pizarras se hallan intercaladas por Huehuetlán y Tierras Coloradas, capitas de carbón de cinco centímetros de grueso. Estas capitas de carbón, sin valor industrial, afloran principalmen-

te en las cercanías de Tierras Coloradas, entre Huehuetlán y la hacienda Huichihuayán.

Cortando á las rocas sedimentarias cretácicas, se encuentran noritas en las cercanías del rancho Ojitipa entre Tancanhuitz y Aquismón. Esta es la única roca ígnea que se halla en las cercanías de Tocomón y de Aquismón. Hacia el Oriente de esta región, por el Ebano, y también hacia el Poniente por Canoas, se encuentran basaltos y tobas basálticas, como se verá más adelante.

Manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo

Las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo se encuentran en la región de Aquismón, tanto en las rocas mesocretácicas como en las neocretácicas.

En el lugar llamado Pubiche, arriba de Tanchanaco, en las faldas orientales de la sierra Temapache, las calizas están en algunas partes impregnadas por petróleo. Este último, oxidado y transformado en chapopote duro, rellena grietas de las mencionadas calizas; y en el interior de éstas, en los lugares adonde el aire no ha podido penetrar, el petróleo no está alterado. Al partir las calizas anteriores se percibe el olor del petróleo, y en el interior de los pedazos partidos se ve la caliza engrasada por el petróleo que impregna en parte á esas rocas.

En el cañón de Tocomón, desde el Tamarindo para la Garita y Santa Cruz, se observa en varios arroyos el petróleo que en pequeña cantidad se extiende sobre el agua, engrasándola en la superficie.

En el mismo cañón de Tocomón, en la margen izquierda del río Tanute, se halla una chapopotera. Allí brota el chapopote por las grietas de las pizarras y margas, que tienen en ese lugar rumbo N.-S. y echado de 10° al Poniente.

Resumen

Como resumen de los datos anteriores relativos á la región petrolífera de Aquismón, se puede decir lo siguiente:

La zona petrolífera que he llamado de Aquismón, se halla en la faja de terreno que en la Huasteca Potosina se extiende por el cañón de Tocomón, desde el Tamarindo por Aquismón, para Tanute, Tanchanaco y Tres Arroyos; y refiero á esta región también, el terreno petrolífero del río Moctezuma, de Tampamolón para Tanquián.

Esta región petrolífera está constituída principalmente por rocas sedimentarias cretácicas: calizas mesocretácicas, en gruesos bancos y muy plegadas, cubiertas en partes por pizarras, margas y areniscas neocretácicas. Estas últimas están suavemente plegadas, y se apoyan en estratificación discordante sobre los bancos de caliza mesocretácica.

Las rocas cretácicas anteriores, en el rancho Ojitipa, están cortadas por noritas terciarias.

En el cañón de Tocomón, principalmente cerca de Tanute, se encuentran chapopoteras con chapopote fluido.

Sólo existe un pozo en esta región, está abierto en Tanute, tiene 138 metros de profundidad, y está abandonado actualmente.

El chapopote en esta región es menos denso que el del Ebano, pero relativamente esta región es de menor importancia comercial que la del Ebano, la cual está situada en los linderos de los Estados de San Luis Potosí y de Veracruz.

EBANO, S. L. P.

Situación

Como región petrolífera del Ebano consideraré á la zona de terreno casi plano que se extiende de las sierras de Tanchipa y Chapacao para el Este hasta Tampico; y que está limitada al Norte por el río Tamesí, y al Sur por el río Pánuco. Una parte muy pequeña de esta zona, la del Poniente, pertenece al Estado de San Luis Potosí, y la mayor parte del terreno anterior corresponde al Cantón de Ozuluama, del Estado de Veracruz. (Véase lám. II.)

La región petrolífera del Ebano, por el Norte se une con la de Tancasnequi, situada en el Estado de Tamaulipas, y al Sur se prolonga por Ozuluama y Tantoyuca del Estado de Veracruz, como se verá más adelante.

La región del Ebano está atravesada longitudinalmente por el Ferrocarril Central Mexicano, en su división de San Luis Potosí para Tampico. En este ramal, á 388 kilómetros al Este de San Luis Potosí, y á 65 kilómetros al Poniente de Tampico, está la estación llamada el Ebano, estación que se encuentra en el Partido de Valles perteneciente al Estado de San Luis Potosí. Esta vía de comunicación tan fácil, que liga á la región petrolífera del Ebano con el centro de la República y con el puerto de Tampico, ha sido uno de los motivos que explica por qué ha avanzado más la exploración en esta región petrolífera, y por qué ha dado hasta ahora algún resultado comercial.

Para estudiar cómodamente esta región se puede seguir el itinerario que paso á indicar. Por el Ferrocarril Central, en su división de San Luis á Tampico, se llega á la estación del Ebano, y de aquí por un ramal del mismo ferrocarril hasta el cerro de la Pez. Después, de la estación del Ebano se sigue para la de Chijol, y de aquí á caballo se camina hacia el Norte hasta el río Tamesí, por donde se hallan los terrenos de Jopoy y Tancasnequi. En seguida, de la estación de Chijol se pasa á la de Tamós, y de aquí á caballo por los ranchos Tamós y Caracol se llega á la laguna de Chila, la cual está situada al Sur de los cerros Tortuga y Corcovado. Por último, del

rancho Caracol, por Montesinos y el cerrito los Maguaves, se llega á Tampalache y Pánuco.

La región petrolífera del Ebano ha sido explorada hasta ahora por la "Mexican Petroleum Co." solamente.

Topografía

Del Estado de Tamaulipas para el de San Luis Potosí entra por el Partido de Valles, y con rumbo casi Norte-Sur, la sierra de Tanchipa ó Boca del Abra. Las faldas orientales de esta sierra descienden para la planicie ligeramente inclinada que baja del rancho el Limón, por Auza, el Ebano, Chijol y Tampico, para el Golfo de México.

Hacia el Norte-Oriente del rancho el Limón, y al Este del llamado Tulillo, se levanta en la planicie antes mencionada la sierrita Chapacao, la cual, con rumbo casi Este-Oeste, se prolonga del Tulillo para la Cebadilla. Al Poniente de esta sierrita se hallan como principales los cerros conocidos con los nombres de Nopal, Peñitas y San Francisco. Las faldas de la sierra Chapacao descienden hacia el Sur y Sur-Este para Velasco, Auza y el Ebano.

Al Norte de la sierrita de Chapacao, y casi de Poniente á Oriente baja el río Tantoán, afluente del Tamesí, y que nace en la sierra de Tanchipa. Descendiendo de esta misma sierra, y más al Norte del río Tantoán, se encuentra el llamado Naranjo, el cual más abajo se llama río Tamesí.

Entre los ríos Tamesí y el Pánuco, situado éste al Sur del anterior, se extiende una faja de terreno que es bastante ancha en las cercanías de la sierrita de Chapacao, y muy estrecha hacia el Oriente, en la cercanías de Tampico, hacia donde se reunen los dos ríos antes mencionados. Esta faja de terreno, con pendiente suave hacia el Este y en muchas partes pantanosa, está interrumpida por pequeños cerros aislados, colinas entre las cuales mencionaré á las siguientes: Al Norte de la laguna de Tamós ó Chila están situadas las colinas llamadas Chijol, Tortuga y Corcovado; y al Este y Sur de la estación del Ebano se encuentran, respectivamente, el cerro Soledad y el de la Pez, bastante notable este último por la gran chapopotera que en él existe, y porque en sus cercanías se hallan las perforaciones que han alcanzado algún éxito comercial.

En la faja de terreno comprendida entre los ríos Tamesí y Pánuco existen varias lagunas, como son: la de Chairel, la de Tamós ó Chila y la de la Tortuga; y hacia el Sur del Ebano está el terreno pantanoso de Vichinchijol, que en la temporada de lluvias se transforma en una laguna, la cual comunica por el Sur con el río Pánuco.

Geología

En la región que he llamado del Ebano se encuentran rocas sedimentarias, y también ígneas. Las primeras son cretácicas en la parte Poniente de la región; neogénicas probablemente, en el subsuelo de la planicie del Ebano; y estas últimas están en su mayor parte cubiertas por formaciones cuaternarias y recientes. Las rocas ígneas terciarias afloran al Poniente del rancho Tulillo, en el cerro Peñitas, y también en las colinas que se levantan en la planicie del Ebano.

Las capas cuaternarias están constituídas por arcilla, arena y grava, y por aluviones de río que se extienden del Tamesí para el Sur, y del río Pánuco para el Norte. Las capas anteriores cubren la mayor parte de la planicie á las rocas terciarias neogénicas del subsuelo, las cuales afloran principalmente en la base de la sierra Tanchipa.

El Terciario de esa localidad está formado por pizarras arcillosas amarillentas, y margas de color gris ó gris azulado. Intercaladas en las margas y pizarras anteriores se encuentran capas de arenisca, de cemento arcilloso y á veces calcáreo. Las capas anteriores afloran principalmente, pero en muy pequeña extensión, hacia el Poniente del Ebano, y en algunas partes de la planicie, en donde por lo general están cubiertas por las formaciones cuaternarias y recientes de la costa del Golfo de México.

Con excepción de las calizas cretácicas fosilíferas de la sierra de Tan chipa, no se encuentra ninguna localidad fosilífera en la región del Eba no. Las pizarras arcillosas y margas apizarradas, que constituyen el subsuelo de la planicie de este nombre, no tienen fósiles; y si considero estas últimas rocas como neogénicas, es por su gran semejanza con las rocas neogénicas que se hallan en la costa del Golfo de México, principalmente en Tuxpan, Papantla y el Istmo de Tehuantepec.

Hacia el Poniente del Ebano se levanta, como he dicho, la sierra de Tanchipa, la cual está constituída, como indiqué en el párrafo anterior, por calizas y pizarras, mesocretácicas y neocretácicas. Estas rocas se extienden hacia el Sur, y afloran en casi toda la región petrolífera de Aquismón ya descrita.

Cortando á las rocas cretácicas se encuentra un macizo de sienitas en el cerro llamado Peñitas, al Poniente del rancho el Tulillo; y cortando á las pizarras arcillosas, margas y areniscas del Ebano, se hallan rocas basálticas, en parte intrusivas, que han metamorfoseado á las rocas sedimentarias con las cuales se hallan en contacto, y son las que constituyen á las colinas que se levantan en la monótona planicie del Ebano. Estos pequeños cerros, como son los de Tortuga, Corcovado, los Pedernales y la Pez, están formados por basaltos á veces cubiertos por corrientes superpuestas de tobas basálticas, las cuales descienden de las colinas mencionadas y se extienden un poco por la llanura. Algunos de estos cerritos, como el de la

Pez, creo que son pequeños conos por los cuales se verificó el derrame de tobas basálticas, que en corrientes superpuestas se extendieron un poco sobre la llanura, corrientes de tobas que han sido fraccionadas, y también en partes completamente destruídas por erosión. La parte intrusiva de los basaltos ha sido alcanzada por las perforaciones hechas en las cercanías del cerro de la Pez. En estas perforaciones se han encontrado basaltos entre las pizarras, areniscas y margas, que constituyen el subsuelo de la planicie del Ebano. En ninguna parte de esta región encontré diques basálticos, sino únicamente macizos y conos constituídos por rocas basálticas, y también restos de corrientes de tobas basálticas fraccionadas por erosión. Estos restos de corrientes fraccionadas constituyen varios, aunque muy pequeños, accidentes en el relieve del suelo.

Estructura general.

Las pizarras arcillosas y margas neogénicas están suavemente plegadas, formando anticlinales y sinclinales muy abiertos y poco levantados. Esas capas, con rumbo variable entre 45 y 60° N.E., y ligeramente onduladas como acabo de decir, tienen su inclinación general hacia el S.E. muy pequeña, 8 á 10° solamente. En algunos lugares, pliegues cruzados forman bóvedas muy poco elevadas, y las capas tienen siempre muy corta pendiente.

La estructura general que acabo de indicar es muy poco favorable para la acumulación de grandes cantidades de chapopote; porque la pequeña inclinación de las capas no facilita la emigración de ese compuesto por los planos de estratificación de estas capas, planos tan poco inclinados que el chapopote no puede vencer las resistencias que se oponen á su ascenso por esos planos. Por esto, en vez de acumularse en las crestas de los anticlinales, queda diseminado en una gran extensión, formando lentes aisladas imposible de localizarlas desde la superficie del terreno.

Manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo.

En los alrededores del Ebano, y sobre todo en las cercanías de las colinas basálticas, hay un gran número de chapopoteras. La extensión superficial ocupada por el chapopote viscoso que, acompañado de gases combustibles, ha salido por estos manantiales, es generalmente pequeña, así como la producción de los referidos manantiales.

En el cerrito de la Pez, situado al Sur de la Estación del Ebano, sale el chapopote por las grietas de las rocas basálticas; y en las cercanías de esta colina hay varias chapopoteras, algunas de las cuales han formado escurrimientos superficiales algo extensos.

Al Este del Ebano, y á dos kilómetros al Norte de la Estación Chijol, existen otras chapopoteras semejantes á las anteriores; y una depresión

del terreno en la cual se reune el chapopote que sale por varios manantiales. Esta pequeña laguna produce al vaciarla cuatrocientas ochenta toneladas de chapopote, pero tarda sobre seis años, según informes, para volverse á llenar.

Al Norte de Chijol por el rancho de Jopoy, en terrenos de Tancasnequi, y en las cercanías del río Tamesí, hay pequeñas chapopoteras.

Al S.E. de Chijol y en las márgenes del río Pánuco se encuentran los lugares llamados Tampalache y el Alamo. Estos lugares muy cercanos entre sí, pertenecen á la Municipalidad de Pánuco, del Cantón de Ozuluama, en el Estado de Veracruz, y existen en ellos pequeñas chapopoteras.

Como se ve, en la faja de terreno casi plano comprendida entre los ríos Tamesí y Pánuco existen muchas chapopoteras, principalmente en los alrededores del Ebano, y también en las cercanías de Chijol, Jopoy y Tampalache. El chapopote que brota por las grietas del terreno en esta región es viscoso, sulfurado, y escaso de aceites ligeros; y el que se encuentra alrededor de las chapopoteras está evaporado, oxidado y en parte endurecido.

Perforaciones.

Sólo existen en esta región las perforaciones hechas por la "Mexican Petroleum Co." en los alrededores del Ebanó.

En Marzo de 1902, época de mi visita á esta región, sólo existían cuatro pozos, muy cercanos entre sí, y abiertos á un kilómetro de distancia al Sur de la Estación del Ebano. Según informes, estos pozos tenían las siguientes profundidades: 300 metros el número uno y el número cuatro; 500 metros el número tres, de los cuales estaban entubados 270; y 908 metros el número dos, de los cuales estaban entubados 283. En aquella época se continuaba la perforación de los pozos dos y tres.

Los pozos anteriores cortaron á las pizarras arcillosas neogénicas y capas delgadas de arenisca intercaladas en las pizarras. Mas abajo, las pizarras tienen intercaladas capas de caliza de espesores diferentes, grises ó amarillentas, y á veces muy duras. En estos pozos se encontró chapopote muy viscoso á los veinte y á los ciento treinta metros de profundidad.

Para hacer la perforación de los pozos anteriores fué preciso verter agua en ellos, pues hasta los 908 metros, profundidad del pozo número dos, no se había cortado ningún receptáculo acuífero subterráneo. En cambio, á distintas profundidades se obtuvieron desprendimientos notables de gases combustibles.

El chapopote alcanzado por estos pozos es muy viscoso, muy denso (1.0122), de base asfáltica, y sumamente escaso en aceites ligeros ó iluminantes. Para extraer este chapopote de los pozos se quiso hacer uso de las bombas especiales para este objeto; pero no dió resultado comercial este procedimiento, ni aun inyectando vapor de agua en los pozos, con objeto

de hacer algo fluido al chapopote alcanzado por las referidas perforaciones.

En el pozo número cuatro el chapopote subía hasta una altura de 105 metros sobre el fondo de la perforación; y según me informaron, vaciando completamente el pozo tardaba veinticuatro horas en volverse á llenar. La producción diaria de este pozo sólo era de diecisiete barriles de 159 litros; y como ni éste, ni los otros tres pozos eran brotantes, y con las bombas no se aumentaba notablemente la producción, en el informe relativo que entonces rendí indicaba yo que la producción de los referidos cuatro pozos debía ser pequeña. (Pág. 7 de ese informe.)

Los pozos anteriores están situados cerca de las chapopoteras; y el chapopote encontrado en estos pozos, entre los 20 y 130 metros de profundidad, es de composición y propiedades casi iguales al que se encuentra en la superficie del terreno en los alrededores de las chapopoteras.

En la extensa zona del Ebano, en 1902, sólo existían como he dicho las cuatro perforaciones antes mencionadas; y por lo tanto, en el informe relativo decía yo que: la exploración no había proporcionado todavía datos suficientes para juzgar acerca de la importancia industrial de esta región petrolífera; y que era posible que en otros lugares, lejanos de donde estaban localizados los pozos anteriores, se encontraran chapopotes fluidos, menos densos, de mejor calidad, y en mayor cantidad que los encontrados allí hasta entonces.

Después, abandonó la Compañía los pozos anteriores y comenzó á abrir otros, distantes dos y cinco kilómetros al Sur de los ya mencionados. En esta zona, y entre el cerro de la Pez y otra colina también basáltica, se abrieron trece pozos, la mayor parte de los cuales encontraron chapopote fluido. De todos estos pozos, el número diecisiete, con profundidad de 510 metros, fué el más notable por ser brotante (gusher). En este pozo brotante durante los primeros días de su existencia, por Abril de 1904, el chapopote se elevaba á una altura de dieciocho metros sobre la superficie del terreno, y con tal fuerza que el chorro destrozaba tubos, codos, etc.; y no se le pudo captar sino después de varios intentos, y de varios días de estar brotando. Más tarde, el chapopote brotaba periódicamente (cada dos horas brotaba durante cuarenta minutos hasta una hora), produciendo en 24 horas sobre 1,600 barriles aproximadamente. Después, la producción disminuyó aún más. Este chapopote se ha usado como combustible líquido en las calderas de la Compañía, y en las locomotoras del Ferrocarril Central Mexicano, principalmente en la división de San Luis Potosí para Tampico. También se ha empleado en gran cantidad para la pavimentación en varias ciudades del país.

Según las indicaciones proporcionadas por los pozos anteriores, parece fundado decir que: son poco gruesas las capas de arena ó de arenisca que se encuentran intercaladas entre las pizarras arcillosas y margas de esta región; y además, la forma de estas capas más ó menos permeables es en lentes aplastadas. En efecto, pozos muy cercanos entre sí, no han cortado

á las mismas capas de arenisca ó las han cortado con espesores distintos, lo cual indica la forma en lentes de estas capas. Por lo tanto, la forma de los receptáculos petrolíferos subterráneos en esta región parece ser en lentes generalmente pequeñas, muy diseminadas en una gran extensión superficial de terreno, y muy diseminadas también á la profundidad. Como prueba de lo anterior puedo decir que: pozos muy cercanos entre sí no han cortado al mismo receptáculo petrolífero subterráneo; y en muchos de estos pozos el uso de la bomba no aumentó notablemente la producción de chapopote, lo cual indica la forma en lentes de los receptáculos petrolíferos subterráneos en esa región. [1]

Por las razones que indicaré más adelante, en el Capítulo relativo á distribución probable del petróleo en el subsuelo, creo que el chapopote en las regiones descritas en este estudio, emigra de la profundidad hacia la superficie del terreno por grietas, á veces capilares, y asciende por ellas impulsado principalmente por la presión de la roca y la de los gases que lo acompañan. Estas grietas al pasar por rocas más ó menos porosas permiten que el chapopote, en su circulación ascendente, llene á los espacios vacíos contenidos en esas rocas porosas, y que se formen allí receptáculos petrolíferos subterráneos de origen secundario. Como las rocas porosas en la región del Ebano son las capas de arena suelta, y en partes las capas de arenisca; y como estas capas parecen tener en esa región la forma de lentes aplastadas y aisladas, los referidos receptáculos secundarios tendrán esta misma forma, y estarán diseminados en una gran extensión superficial de terreno.

Las partes intrusivas de los basaltos constituyen en el subsuelo una especie de barreras impermeables, que impiden se verifique junto á ellas la circulación lateral del chapopote; y en cambio, permiten el ascenso de este compuesto por la zona de contacto entre las rocas sedimentarias cortadas, y las partes intrusivas de los basaltos. Esta zona de contacto es relativamente permeable por estar fracturada, y por encontrarse en ella la superficie de separación de rocas de origen diverso, de edad distinta y de condiciones físicas completamente diferentes. Las grietas por las cuales emigra el chapopote hacia la superficie del terreno, al llegar á las zonas de contacto antes mencionadas, permiten que el chapopote forme en esas zonas depósitos secundarios, al llenar los espacios vacíos comprendidos en ellas.

Teniendo en cuenta lo anterior creo que no pueden alcanzar un éxito comercial igual, ni semejante, todos los pozos que se abran en la región petrolífera que he llamado del Ebano, pues no todos cortarán depósitos secundarios, ó sean, lentes petrolíferas de las que se hallan muy diseminadas en el subsuelo de la región, sino que algunos cortarán solamente grietas por donde el chapopote emigra hacia el exterior, y otros no cortarán ni á es-

1 Myron L. Fuller. The Gaines Oil Field of Northern Pennsylvania. 22d Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1900-1901. Part III, pág. 604.

tas grietas. Por otra parte, las referidas grietas pueden ser capilares ó supercapilares, y el chapopote circulará por ellas venciendo resistencias distintas, y con velocidades diferentes. Por lo tanto, los pozos que cortan á grietas distintas producirán también muy distintas cantidades de chapopote. Además, como el chapopote fluido puede circular con mayor facilidad que el viscoso por las grietas, poros é intersticios de las rocas, los pozos que corten grietas ó lentes con chapopote fluido producirán mucha mayor cantidad de este compuesto, que los pozos que corten lentes ó grietas con chapopote más ó menos viscoso.

Por las razones antes expuestas, y por las que indicaré más adelante en otro Capítulo, creo que los pozos ubicados en las zonas de contacto entre las rocas sedimentarias cortadas y las partes intrusivas de los basaltos de esa región, son los que tienen mayores probabilidades de cortar grietas por las cuales circule chapopote, y aun de alcanzar alguna lente petrolífera subterránea, si existen chapopoteras en esas zonas; pero no tendrán todos estos pozos la misma producción, ni alcanzarán todos el mismo éxito comercial.

Para concluir esta parte de mi estudio diré que: el dato exacto relativo á la producción actual de chapopote fluido en la región del Ebano no lo puedo indicar, porque son muy distintos los datos que poseo relativos á esta producción. Por lo tanto, me limitaré á decir: que en 1902 la producción era casi nula; y que desde 1904 hasta ahora, la región del Ébano es la que ha producido en total mayor cantidad de chapopote en México, aunque su producción diaria no haya sido muy notable, con excepción de los primeros días que estuvo brotando el pozo número 17, situado en las cercanías del cerro de la Pez.

RESUMEN

Resumiendo los datos anteriores relativos á la región petrolífera del Ebano, se puede decir lo siguiente:

La que he llamado zona petrolífera del Ebano se extiende: de la base de las sierras de Tanchipa y Chapacao para el Este hasta Tamós, en las cercanías de Tampico; y está limitada al Norte por el río Tamesí, y al Sur por el río Pánuco.

Esta región petrolífera está constituída por pizarras arcillosas y margas, con areniscas intercaladas, pertenecientes todas al Neógeno probablemente.

El Neógeno marino del Ebano está cubierto en la mayor parte de esa planicie, hasta Tamós, por formaciones cuaternarias y recientes; y se apoya en estratificación discordante sobre las calizas y pizarras calizas, mesocretácicas y neocretácicas, de la sierra Tanchipa ó Boca del Abra.

Las pizarrras arcillosas amarillentas, neogénicas probablemente, están ligeramente plegadas, formando anticlinales y sinclinales sumamente abier-

tos y muy poco levantados. Estas capas así onduladas tienen su pendiente general muy suave, 8 á 10°, hacia el Sur-Este.

Las pizarras anteriores están cortadas por basaltos en parte intrusivos.

En los alrededores del Ebano, y en las cercanías de Chijol, Jopoy y Tampalache existen chapopoteras por lo general pequeñas y con muy corta producción de chapopote.

En las cercanías del Ebano y del cerro de la Pez se han hecho perforaciones en número de 17, una de las cuales alcanzó cerca de mil metros de profundidad. Varias de estas perforaciones han producido chapopote fluido, sobre todo el pozo 17 que fué brotante.

Los receptáculos petrolíferos subterráneos en esta región parecen tener la forma de lentes irregulares, generalmente pequeñas, y que se encuentran diseminadas en una gran extensión de terreno.

El chapopote de esta región, aun el producido por el pozo brotante (gusher), es de los más densos encontrados hasta ahora en las regiones petrolíferas de México, descritas en este estudio. Ese chapopote es muy escaso en aceites ligeros, es negro, de base asfáltica, y aprovechable como combustible líquido.

Aunque no son de igual valor comercial esta región y las petrolíferas de Texas, la región del Ebano es hasta ahora la que en México ha producido en total mayor cantidad de chapopote, no obstante que su producción diaria no ha sido muy notable, con excepción de los primeros días que estuvo brotando el referido compuesto por el pozo número 17, situado en las cercanías del cerro de la Pez.

TANTOYUCA

Situación

La región petrolífera que designo con el nombre de Tantoyuca, es la que se extiende del río Pánuco para el Sur hasta la sierra de Otontepec ó de Tantima. Esta sierra separa á la región petrolífera de Tantoyuca de la de Tuxpan, situada más al Sur.

La zona anterior comprende á los Cantones de Ozuluama y Tantoyuca del Estado de Veracruz, Cantones en los que hasta ahora no existe ningún ferrocarril que los atraviese; pero se puede estudiar con facilidad esta región, embarcándose en Tampico por el río Pánuco hasta este último lugar, y después caminando á caballo conforme al siguiente itinerario. De Pánuco, por Miradores, rancho de Santa Ana, perteneciente á la hacienda Paijá, el Pueblito, hacienda del Higo y Badeas, siguiendo siempre la margen derecha del río Pánuco y después la del llamado Tempoal, hasta la población de este último nombre. De Tempoal, al S.E., y por los ranchos Motzorongo y San Luis hasta el llamado Cantarranas, en donde se encuentra la loma Tambacán en terrenos de Tamelul. De Motzorongo por el rancho del Cristo para Platón Sánchez, y los lugares llamados: el Aguacate, los Venados, San Juan y Tancanzahuela. De Motzorongo, dejando á la izquierda la loma del Carmen, y por la Hacienda y Paso real de la Laja, se llega á Tantoyuca. Por último, al Sur de esta población está el lugar llamado la Condesa, en donde también existen manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo.

Topografía

Las faldas de la elevada sierra de Otontepec descienden al Poniente para Tantoyuca, y por el Norte hacia Ozuluama, hasta perderse en el lomerío que se extiende de estos lugares para el río Pánuco.

Del Sur para el Norte descienden de la sierra de Otontepec, el arroyo Escribanillo y los ríos Chila y Tamozus. Estos dos últimos se reunen, y más abajo el río se llama Comales. A éste se une el arroyo Escribanillo, y después el río toma el nombre de Chicayán.

Al Poniente del río Chila, y descendiendo también de Sur á Norte, se encuentra el río Calabozo. Este río nace en la sierrita de Chicontepec, recibe como afluentes varios arroyos que descienden de las sierras de Huautla, Huejutla y Orizatlán, del Estado de Hidalgo; y pasa por Tempoal, desde donde el río toma este último nombre. Más abajo y hacia el Norte, se reune el anterior con el río Moctezuma, que baja del Estado de San Luis Potosí, río que á su vez se reune al Pánuco al Oriente de Tamuín, y al Sur-Poniente del Ebano.

Entre los ríos Chila y Calabozo se levanta un lomerío que llega á alcanzar 217 metros de altura sobre el nivel del mar; y á esta altura, y en ese lomerío, se encuentra la villa de Tantoyuca, cabecera del Cantón del mismo nombre.

De Tantoyuca desciende el terreno por todos lados. Por el Norte hacia Mata del Tigre y la Cebadilla; al Norte-Oriente para Pecero; al Este para el río Chila; al Sur y Poniente para el río Calabozo, y al Norte-Poniente para Tempoal.

El lomerío anterior por el Oriente, y el de Chiconamel y Sacatianguis por el Oeste, limitan al valle que de Sur á Norte desciende de la Puerta para Tempoal.

Entre los ríos Tempoal y Chicayán, así como entre este último y Ozuluama, hasta la laguna de Tamiahua, se extiende un lomerío, que al Norte termina en el río Pánuco, y al Este en la laguna antes mencionada.

En los Cantones de Tantoyuca y Ozuluama el descenso general del terreno es del Sur hacia el Norte, es decir, de las sierras Otontepec y de Chicontepec para el río Pánuco. En este descenso el terreno está cortado por los ríos que mencioné antes, y entre estos últimos se encuentran, ó los contrafuertes de las sierras mencionadas, ó el lomerío que se levanta al Sur del río Pánuco. (Véase Lám. II).

Geología

Las rocas que afloran en esta región son sedimentarias en su mayor parte: terciarias, neogénicas, generalmente cubiertas por formaciones cuaternarias, al Norte, al Este y al centro; neocretácicas al S.W.; y eruptivas basálticas al Sur-Oriente de la región.

Las capas cuaternarias están constituídas por arcilla, arena y grava; así como, por aluviones de río que se extienden del Pánuco para el Sur y para el Este. Las capas anteriores son prácticamente horizontales, y se hallan en estratificación discordante con los estratos terciarios á los cuales cubren en gran extensión.

El terciario está formado por capas de marga, de color gris ó gris azulado, plásticas ó duras, á veces apizarradas, que han sido cortadas por erosión y afloran en los cortes naturales del terreno, principalmente en el río

Tempoal por el rancho del Cristo. Intercaladas en las margas anteriores hay capas de arena suelta, y á veces areniscas arcillosas ó calcáreas.

Las margas anteriores están por lo general poco consolidadas, y son fosilíferas en las cercanías del Cristo. Por los fósiles que contienen las he considerado pertenecientes al Neógeno, de la división que llamo Tuxpan.

Las capas neogénicas mencionadas se apoyan sobre calizas y areniscas, las cuales tienen rumbo variable desde 20° N.W. hasta 30° Norte–Oriente, estratos que forman pliegues suaves, con muy pequeña pendiente general hacia el Sur–Este. Estas calizas y areniscas probablemente neocretácicas, afloran al Sur y Sur–Poniente de Tantoyuca, y están cubiertas por las margas grises ya mencionadas.

Las capas cuaternarias cubren en gran extensión, como he dicho, á las terciarias de esa localidad; pero el grueso de las primeras es pequeño, pues tanto en los cortes naturales, principalmente en los ríos Pánuco y Tempoal, como en las perforaciones que se han hecho en esa región, aparecen las capas terciarias á poca profundidad.

Las capas sedimentarias anteriores están cortadas y en parte cubiertas por las rocas balsáticas que constituyen á la sierra de Otontepec, sierra también conocida con los nombres de San Juan ó Tantima. Allí se encuentran basaltos negros cubiertos en partes por tobas basálticas amarillentas. Estas rocas basálticas se extienden de San Juan por el N.E. para Tantima y Amatlán, y de San Juan por el S.W. para el Humo.

Más al Norte de esta región afloran los basaltos, como dije antes al mencionar los cerros llamados Tortuga, Corcovado, Topila y Maguaves; y más al Sur de esta región, como se verá adelante, afloran también los basaltos en los cerros llamados Chapopote, Santa Teresa, Los Horcones, etc.

Manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo

Con excepción de la región cercana del cerro de la Pez, en el Ebano, son insignificantes las manifestaciones petrolíferas en los Cantones de Ozuluama y Tantoyuca; pues los manantiales de chapopote, «chapopoteras,» son de muy escasa producción y las perforaciones no han alcanzado hasta hoy éxito comercial.

Entre las pocas chapopoteras que existen en esta región, citaré las siguientes: la de Pitahaya, la de Bejuco, cerca de Ozuluama; la de Comales, cerca de Pecero y la de la Condesa, al Sur de Tantoyuca. Todas estas chapopoteras son de poca importancia industrial, y el chapopote es muy viscoso.

Además de las manifestaciones anteriores, existe en esta región la grahamita, en el Cristo, los Venados, San Juan y Tancanzahuela. Se halla la grahamita en esta región rellenando las grietas más ó menos irregulares, abiertas en las areniscas y margas y á veces en lentes entre las caras de se-

paración de los referidos estratos. Afloran estas grietas rellenadas con grahamita, principalmente en la margen izquierda del río Tempoal y también en el río Capadero y los arroyos llamados los Venados, San Juan y Tancanzahuela.

La mina del Cristo, ahora completamente azolvada, fué labrada en la margen izquierda del río Tempoal, en terrenos del rancho del Cristo, y se componía de un pozo vertical y un pequeño socavón, por donde se extrajo la grahamita que analizó W. Walace, quien obtuvo los siguientes resultados.

Análisis de la grahamita del Cristo:[1]

Peso específico		1.156	
Materia volátil.	Gas iluminante	61.32 p§.	62.14 p§.
	Azufre	0.46 p§.	
	Agua	0.36 p§.	
Coke	Carbón fijo	31.63 p§.	37.86 p§.
	Azufre	0.37 p§.	
	Cenizas	5.86 p§.	

Tanto en el Cristo como en las cercanías de Tempoal, en el Agüacate, en San Juan, en Venados, en Huisache cerca de Corosal, y en todos los lugares donde aparece la grahamita en esa región, que es conocida con el nombre de Huasteca Veracruzana, se encuentra esta substancia rellenando grietas que son angostas é irregulares. Por lo tanto, considerados industrialmente estos depósitos de grahamita de las regiones mencionadas, puede decirse que no tienen valor comercial.

En la Huasteca Veracruzana se ha confundido á la grahamita con el carbón bituminoso de la mejor calidad; y por esto se ha llamado región carbonosa á la que se extiende de Huejutla, por Platón Sánchez, para Tantoyuca. Pero esto no es exacto, pues tanto la manera de yacimiento en grietas y no en mantos, como la composición y propiedades de ese hidrocarburo, que se funde y se hace viscoso al calentarlo, son pruebas evidentes de que no se trata de un carbón, sino de una grahamita, la cual es de origen muy distinto del que tiene el carbón. En efecto, la grahamita es el resultado de la oxidación ó sulfuración del chapopote, compuesto que al enriquecerse en oxígeno ó en azufre y al perder hidrógeno, pasa de fluido á viscoso; y después, si la oxidación ó la sulfuración continúan, se endurece hasta llegar á convertirse en una grahamita ó en chapopote duro. La composición de estos chapopotes duros varía con el grado de oxidación alcanzado; y á esto es debido que se les haya designado con distintos nombres, como son los de grahamita y albertita, nombres que no designan especies minerales, sino

1 Minero Mexicano. Tomo VIII. 1882. Págs. 18 y 19.

únicamente distintos grados de oxidación de los hidrocarburos que constituyen á los chapopotes fluidos.

El chapopote puede oxidarse ó sulfurarse en las grietas, ó conductos en general, por donde emigra de la profundidad hasta la superficie del terreno, y también en esta superficie. En el primer caso, al endurecerse el chapopote por oxidación ó sulfuración lenta, rellena las grietas por las cuales se verifica su circulación subterránea, y forma vetillas de grahamita; en el segundo caso, el chapopote oxidado y endurecido se encuentra en forma de lentes, situadas á veces debajo de los aluviones.

No solamente en la Huasteca Veracruzana se encuentra la grahamita, sino que, como se verá más adelante, la hay también en las cercanías del Espinal, en el Cantón de Papantla, y también en el de Misantla en el río Quilate; pero todos estos yacimientos no tienen valor comercial, como lo han comprobado las exploraciones que de ellos se han hecho, tanto por la mina el Cristo en Tantoyuca, como por las minas del Espinal en Papantla.

Perforaciones

La única perforación que conocí en esta zona, en 1902, fué la llamada Ojo de Brea. Esta perforación se halla al pie de la loma Tambacán en terrenos de Tamelul; tiene según informes 300 metros de profundidad, su sección circular es de 14 centímetros de diámetro; y cuando la visité no producía ninguna clase de chapopote, ni se podía ver si existe éste á la profundidad alcanzada por la perforación, por estar este pozo completamente azolvado.

Posteriormente á mi visita no se ha abierto ninguna nueva perforación en esta región, y por lo tanto, puede decirse que hasta hoy la zona de Tantoyuca no ha producido chapopote en cantidad comercial.

La zona petrolífera que de San Luis Potosí por Coscatlán, y de Tamaulipas por Tancasnequi, entra á Veracruz por los Cantones de Tantoyuca y Ozuluama, está limitada al Sur-Este por la sierra basáltica de Otontepec ó de Tantima, sierra que separa á esta zona de la muy interesante región petrolífera de Tuxpan que está situada más al Sur.

La región petrolífera de Tantoyuca que, como he dicho, es la prolongación al Sur y Sur-Este de las regiones de Tancasnequi y del Ebano, es comparable con estas últimas regiones en lo que se refiere á la distribución del chapopote en el subsuelo. En efecto, parece que en todas estas regiones, el chapopote se encuentra en el subsuelo formando depósitos lenticulares aislados, y diseminados en una gran extensión de terreno. Estos depósitos parecen ser más abundantes en la región del Ebano que en las de Tancasnequi y en la parte Norte de Tantoyuca; pues en la primera de las mencionadas son mucho más abundantes que en las otras dos las manifestaciones superficiales del chapopote del subsuelo. En vista de lo anterior, me parecen de mu-

cha menor importancia industrial las regiones petrolíferas de Tancasnequi y la parte Norte de Tantoyuca, que la del Ebano en su parte occidental. Sin embargo, para emitir una opinión mejor fundada acerca del valor comercial de las dos primeras regiones que acabo de mencionar, es preciso hacer algunas perforaciones exploradoras que proporcionen datos exactos relativos, á la distribución del chapopote en el subsuelo de esas regiones, y á la cantidad y calidad de este hidrocarburo más ó menos oxidado y sulfurado.

Resumen

Resumiendo los datos relativos á la región petrolífera de Tantoyuca, se puede decir lo siguiente.

La región petrolífera de Tantoyuca está limitada al Norte por el río Pánuco; al Poniente por la sierra de Zacatianguis; al Sur y Sur-Este, por las sierras de Chicontepec y de Otontepec; y al Este, por el Golfo de México. Esta zona es la continuación al Sur y al Sur-Este de las regiones petrolíferas de Tancasnequi y del Ebano, la primera perteneciente al Estado de Tamaulipas y la segunda en parte al Estado de San Luis Potosí.

Las rocas que afloran en esta región son sedimentarias en su mayor parte: terciarias neogénicas, generalmente cubiertas por formaciones cuaternarias, al Norte, al Este y al centro; neocretácicas al Sur-Poniente; y eruptivas basálticas al Sur-Oriente de la región.

Las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo son escasas y no tienen importancia industrial.

Sólo existe una perforación profunda al pie de la loma de Tambacán en terrenos de Tamelul, perforación que está completamente azolvada.

Esta región no está explorada y aunque parece que es de menor importancia comercial en su parte Norte que la parte Poniente de la región del Ebano, es preciso hacer algunas perforaciones exploradoras para poder emitir una opinión bien fundada acerca de su verdadero valor comercial, considerada como zona petrolífera.

TUXPAN

Situación

El Cantón de Tuxpan del Estado de Veracruz, es una región petrolífera sumamente interesante, sobre todo en su parte Norte; ó sea, la comprendida entre el río Tuxpan, y los linderos del Cantón de este nombre con los de Tantoyuca y Ozuluama del Estado de Veracruz.

Hasta ahora no existe ningún ferrocarril que pase por el Cantón de Tuxpan; pero se puede llegar con comodidad á esta región petrolífera: embarcándose en Veracruz ó Tampico para Tuxpan, y de este puerto hacia el Norte caminando á caballo; ó bien, embarcándose en Tampico, y por la Laguna de Tamiahua, se llega en doce horas hasta la región que paso á estudiar.

Para conocer esta región petrolífera el mejor itinerario es el siguiente. De Tuxpan, por el camino de Tamiahua, el rancho Tecomate y el Paso de los Martínez se llega á la Laguna Tampamachoco, en donde se encuentran las manifestaciones petrolíferas más cercanas al mar en esta región. De Tuxpan, por Boca del Monte, el Ojito, y Jacubal para el rancho el Tumbadero. De este lugar, por el rancho de La Laja y el Molino, á la hacienda el Chapopote, en donde se hallan el cerro y arroyo de este mismo nombre. De la hacienda el Chapopote, por Laguna Seca á Cerro Viejo. En este lugar está el cerro Chapopotal, muy cerca del rancho llamado Santa Teresa. De Cerro Viejo, por la hacienda Palma Real, y dejando al S. E. el pueblo de Temapache, se llega al rancho Cuitlahuloco. De este lugar, siguiendo para el Paso de Gil se encuentra la notable chapopotera de Tierras Amarillas. De aquí, por terrenos de la hacienda Solís y los ranchos Zapotal, Milquiahualos y Santa Cruz se llega á la hacienda Juan Felipe. De Juan Felipe, por Cerro Azul, Cerritos y el Paso de las Rusias, el camino sigue para el rancho Piedra Labrada; y de aquí por el cerro el Chapopote continúa hasta Tepetzintla. Toda esta región, que comprende la parte Norte del Cantón de Tuxpan es petrolífera, y de espectativa industrial.

Topografía

Al Norte–Poniente del Cantón de Tuxpan se levanta la sierra de Otontepec, la cual con rumbo medio 45° N. E. se prolonga del cerro San Juan para Tantima. Esta sierra divide á las aguas que por el Norte–Poniente descienden por los ríos Chila, Comales y Chicayán para el Pánuco; de las que por el Sur–Este bajan por el río Buenavista para el de Tuxpan. (Véase Lám. II.)

La sierra anterior separa la región petrolífera que se extiende al Poniente y Norte, por Tantoyuca y Tempoal para Pánuco, de la región de Tuxpan que se prolonga al Este y al Sur de la referida sierra: por San Sebastián y Rancho Nuevo para la laguna Tampamachoco; y por Tepetzintla, Temapache y hacienda Chapopote, para el rancho el Tumbadero y Tuxpan.

De la sierra de Otontepec se desprenden hacia el Este varios contrafuertes, entre los cuales mencionaré los siguientes. De San Pedro por Tamalimillo se extiende un contrafuerte con rumbo casi Oriente–Poniente, y se dirige para San Francisco y Cerro Azul. Hacia el Norte de este contrafuerte las aguas descienden por los ríos Tancoco y Tancochín; y por la parte Sur del mismo contrafuerte las aguas bajan por el río Gil.

Al Sur del contrafuerte anterior se encuentra otro, que con rumbo Sur–Este se prolonga de Tepetzintla para Cerro Gallo. Entre este contrafuerte, que llamaré de Tepetzintla, y el anterior que distinguiré con el nombre de contrafuerte Cerro Azul, se encuentra el río de Buenavista. Entre este río y el de Gil, y cerca de Temapache, se levanta la sierrita de este último nombre, sierrita que hacia el Sur desciende para Jacubal. Esta sierrita se extiende del Zapotal y Cuitlahuloco para Temapache.

En las faldas Sur del contrafuerte Cerro Azul se encuentran los siguientes lugares, de los cuales me ocuparé más adelante: Piedra Labrada, Juan Felipe, El Zapotal, Solís y Tierras Amarillas. En la falda oriental del contrafuerte Tepetzintla, y al Sur–Este de ese lugar, se encuentran Los Horcones, Santa Teresa y Cerro Viejo. Los contrafuertes anteriores descienden hacia el Este para el Golfo, y hacia el Sur para el río Tuxpan.

De la sierrita de Temapache para la laguna de Tamiahua se extiende una planicie, de San Sebastián y Rancho Nuevo por Tangüijo, para la hacienda de la Asunción y la población de Tuxpan; planicie que está limitada al Este por las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco.

Al Sur del río de Tuxpan se encuentra un lomerío que desciende hacia el Norte para el río Tuxpan, y al Sur para el río Cazones, que es el lindero entre los Cantones de Tuxpan y Papantla.

La parte Norte del lomerío anterior está surcada por varios ríos y arroyos, que descienden para el río Tuxpan con rumbo medio 45° N. E. Entre estos ríos mencionaré: el Vinasco, el Pantepec, el Castillo y el Tecoxtema; y entre los arroyos citaré á los llamados: Mequitla, Cañas y Zapotal. La

parte Sur del mismo lomerío está surcada por los ríos Acuatempam y Totolapa, los cuales con rumbo medio Este-Oeste descienden para el río Cazones.

En el lomerío antes mencionado se encuentran entre otros los siguientes lugares: Rancho Nuevo y Tihuatlán.

Los lugares más elevados en el Cantón de Tuxpan se hallan en la sierra de Otontepec, la cual levanta su cima hasta mil metros arriba del nivel del mar. La forma de esta sierra es bastante accidentada debido á condiciones genéticas, pues toda ella está constituída por rocas basálticas, como se verá más adelante.

Toda esta región, aunque cálida es bastante sana; y con excepción de algunos terrenos situados en la planicie que se extiende de la sierrita de Temapache para las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco, no hay terrenos pantanosos en esta región. En cambio, algunos lugares de la planicie antes indicada se inundan en tiempo de lluvias, y permanecen húmedos casi todo el año, sobre todo en las cercanías de la laguna de Tampamachoco.

Geología de la región

En la región petrolífera de Tuxpan el Neógeno está constituído por margas apizarradas, y capas de arena ó de arenisca intercaladas en las margas. Debajo hay calizas amarillentas fosilíferas, que afloran en varios lugares, y en las cuales se encuentran Equinodermos del género Clypeaster, sobre todo en una pequeña loma situada al Norte de Tuxpan, muy cerca de este lugar, y de donde se saca la piedra para construcciones y pavimentos. Las rocas anteriores están cubiertas en muchas partes por arcillas amarillentas no apizarradas.

Las margas son de color gris azulado, y tanto ellas como las areniscas tienen rumbo medio de 30° N.W. con echado al N.E. hasta de 35°. En Cuitlahuloco el rumbo de las capas es de 45° N.W. con echado al N.E.; entre Tierras Amarillas y el Alto de Agua Nacida el rumbo de las capas es Oriente-Poniente, con 35° de echado al Sur; y las mismas capas son casi horizontales en el río Buenavista, cerca del rancho llamado El Molino.

El Neógeno antes mencionado, y que comprende la parte superior del Mioceno y la inferior del Plioceno, se extiende de la sierra Otontepec ó de Tantima: para el Este, hasta perderse bajo el Cuaternario y formaciones recientes de la playa; y por el Sur, se prolonga para el río Tuxpan y de allí para el de Cazones, constituyendo todo el lomerío que se halla entre estos dos ríos.

En muchos lugares de esta región está cubierto el Neógeno, como dije antes, por arcilla amarillenta; pero en otras partes afloran las calizas y margas, rocas que son fosilíferas en esta región.

Desde la sierrita de Temapache para la laguna de Tamiahua aflora en

varios lugares el Neógeno; pero generalmente está cubierto en esa zona por arcillas, y por las formaciones recientes de la playa.

En muchos lugares el Neógeno anterior está cortado por basaltos que en forma de conos se encuentran repartidos en esta región. La sierra de Otontepec ó de Tantima, de San Juan para el N.E. por Tantima y Amatlán, y de San Juan para el S.W. por el Humo, toda está constituída por basaltos negros, cubiertos en partes por tobas basálticas amarillentas. El cerro llamado Chapopote, situado á cuatro kilómetros al N.E. de Tepetzintla, está constituído también por basaltos. Los mismos basaltos afloran en las cercanías de Santa Teresa, Los Horcones y Cerro Viejo, así como en otros varios lugares de esa región, sobre todo en las cercanías de las chapopoteras.

En esta región, lo mismo que en las de San José de las Rusias y el Ebano, los basaltos en su parte intrusiva han formado especies de barreras subterráneas impermeables, las cuales dificultan el movimiento lateral y facilitan la circulación ascendente del chapopote. Por lo tanto, y por las razones que indiqué ya en otro Capítulo, las zonas de contacto entre los basaltos y las rocas sedimentarias de esas regiones, son permeables, y facilitan la emigración del chapopote de la profundidad hacia la superficie del terreno. Esto explica por qué en el afloramiento de estas zonas de contacto es en donde se encuentran principalmente las chapopoteras.

Es tan constante en estas regiones la asociación de las chapopoteras con la parte intrusiva de los basaltos, como es en el Istmo de Tehuantepec la asociación de las mismas chapopoteras con los arrecifes calizos preterciarios de que hablaré más adelante. El estudio de estas asociaciones es muy interesante; pues así como han dado resultados industriales la mayor parte de las perforaciones hechas en las cercanías de las zonas de contacto, entre las rocas sedimentarias y las basálticas intrusivas, cuando en estas zonas hay chapopoteras; las perforaciones han sido un fracaso comercial cuando se han abierto en las zonas de contacto en donde no existen chapopoteras, ó que son éstas completamente insignificantes. Un ejemplo de este último caso son las perforaciones de Sabaneta, de las cuales me ocuparé en el siguiente Capítulo.

En las cercanías de los contactos antes mencionados las rocas sedimentarias se hallan metamorfoseadas, las margas se encuentran apizarradas y bastante endurecidas.

Estructura general

La estructura general del Neógeno de esta región es monoclinal. Las margas apizarradas y las areniscas forman suaves ondulaciones, pliegues muy abiertos y poco levantados, con rumbo medio 30° N.W. y con echado al Norte-Oriente; pero la inclinación general de estas capas, así ligeramente onduladas, es hacia el N.E.

La misma estructura monoclinal se observa al Sur de Tuxpan, en el ex-

tenso lomerío comprendido entre los ríos de Tuxpan y de Cazones; y como se verá más adelante, esta estructura monoclinal es la que se observa en el Neógeno de casi todas las regiones petrolíferas estudiadas por mí en la costa del Golfo de México.

Manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo

Las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en la región de Tuxpan se encuentran: tanto en el contrafuerte que he llamado Tepetzintla, como en el de Cerro Azul; y también en la planicie que se halla entre la sierrita de Temapache y las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco. En efecto: hay chapopoteras desde el Norte de Tepetzintla, por Cerro Azul, Juan Felipe, Cerro Solís, Tierras Amarillas, Santa Teresa, Cerro Viejo y hacienda Chapopote, hasta los ranchos de Tumbadero y Jacubal; y en la planicie situada al Este de la sierrita de Temapache, se encuentran las chapopoteras de Tangüijo, San Marcos, San Sebastián y las del lugar llamado Chapopotito de los Martínez, en la orilla de la laguna de Tampamachoco.

En las faldas Sur y Poniente del cerro basáltico llamado Chapopote, á cuatro kilómetros al Norte-Oriente de Tepetzintla, y en terrenos del rancho Piedra Labrada, existen tres chapopoteras, por las cuales sale chapopote viscoso junto con agua en pequeña cantidad. Este hidrocarburo que brota por las grietas del basalto ha formado grandes escurrimientos en las faldas del mencionado cerro. En la base del mismo cerro, hacia la margen izquierda del arroyo conocido en ese lugar con el nombre de Piedra Labrada, existen otras chapopoteras por las que brota también el chapopote junto con agua.

En Los Cerritos, cerca del Paso de las Rusias, existen otras dos chapopoteras con chapopote viscoso.

En Cerro Azul, que está situado al Este de Tepetzintla, y también al Este del rancho Piedra Labrada, muy cerca de la hacienda Juan Felipe, se encuentran unas de las chapopoteras más notables y más importantes de las que existen en las regiones petrolíferas que he estudiado. Estas chapopoteras son en número de tres; las principales están al Poniente de Cerro Azul, se hallan en las margas cubiertas por arcilla, y por ellas está brotando constantemente chapopote fluido, el cual al escurrir por los barranquillos del cerro ha formado un depósito superficial de grandísima extensión. Este chapopote brota acompañado de agua conteniendo hidrógeno sulfurado disuelto; y acompaña también al chapopote gran cantidad de gases fácilmente inflamables. En las faldas de Cerro Azul se ha depositado el chapopote en las depresiones del terreno, y forma pequeñas lagunas. Estas lagunas llenas de chapopote fluido son muy peligrosas para el ganado, pues al caer en ellas se hunden los animales y allí se mueren. Para evitar este peligro se quema el chapopote contenido en las lagunas, el cual arde muy fácilmente; y una vez endurecido desaparece el riesgo, entretanto no se

llenan de nuevo con chapopote fluido las referidas depresiones del terreno.

Al Sur-Oriente de Cerro Azul y muy cerca de él, se encuentran otras chapopoteras, también muy interesantes, que se conocen con el nombre de Juan Felipe, y son casi iguales á las de Cerro Azul; brota por ellas el chapopote fluido, y han formado también notables escurrimientos. Estas chapopoteras, y las de Cerro Azul y Tierras Amarillas, son las más importantes y las más productivas de toda la región petrolífera de Tuxpan.

En la falda Poniente del cerro llamado Solís ó Pelón, que se encuentra al Sur-Este de Juan Felipe, existen muchas chapopoteras, en las que brota por grietas de las margas chapopote viscoso, el cual ha formado escurrimientos bastante extensos.

En Tierras Amarillas, lugar muy cercano de Palma Real y del cerro Solís, y separado de éste solamente por el arroyo de Gil, existen varias chapopoteras por las que brota chapopote fluido, acompañado de gran cantidad de gases combustibles. En este lugar se encuentra una depresión de diez metros de diámetro, muy profunda, y completamente llena de chapopote fluido, el cual baja por un arroyo cercano y ha formado un gran escurrimiento.

En la falda Norte-Oriente del cerro llamado Chapopotal, en terrenos de la hacienda Cerro Viejo y muy cerca del rancho Santa Teresa, existen otras chapopoteras por las que escurre chapopote fluido, el cual ha llenado una pequeña depresión en la base del cerro mencionado.

Al Sur de los manantiales anteriores, y al Norte y muy cerca de la hacienda Cerro Viejo, se encuentran tres chapopoteras con chapopote fluido.

En la falda Norte-Poniente del cerro llamado Chapopotal, al Norte del arroyo y hacienda Chapopote, existen varios manantiales por los que brota chapopote fluido en gran cantidad y acompañado de gases combustibles. Estos manantiales han formado un extenso escurrimiento con chapopote viscoso. Las chapopoteras anteriores se encuentran en las margas apizarradas casi horizontales, que afloran en la margen izquierda del arroyo Buenavista, cercano al rancho de La Laja.

Al Norte-Poniente del rancho Tumbadero, y en el camino de La Laja para Loma Larga, existen muchas pequeñas chapopoteras en las margas y arcillas de Buenavista, y por las que casi ya no brota chapopote. El escurrimiento formado por estos manantiales es pequeño, y el chapopote es duro.

Al Norte de Tuxpan, á la orilla de la laguna Tampamachoco, se encuentran los manantiales con chapopote duro conocidos con el nombre de Chapopotito de los Martínez. Entre las arenas y arcillas modernas que se encuentran en este lugar, brota por muchos puntos en tiempo de calor el chapopote viscoso. De estos manantiales llegué á contar treinta y seis, unos muy pequeños, otros más importantes, y que producen regular cantidad de chapopote en la temporada de mucho calor.

Cerca del rancho Jacubal, en Llano Grande, en San Marcos, en San

Sebastián, en Tangüijo, en San Gerónimo y en Palo Blanco, existen otros manantiales de chapopote de alguna importancia.

Las principales chapopoteras de la interesante región petrolífera de Tuxpan, están situadas en una línea mixta.[1] La parte semicircular está definida por las chapopoteras llamadas: Cerro Chapopote, al Norte-Oriente de Tepetzintla; Cerritos; Cerro Azul; Juan Felipe; Cerro Solís ó Pelón; Tierras Amarillas y Cerro Chapopotal, en las cercanías del rancho Santa Teresa. Después siguen en línea recta para el Sur, las chapopoteras de Cerro Viejo y hacienda Chapopote; y forman otra línea recta, dirigida hacia el Este, las chapopoteras de Tumbadero, Jacubal y Chapopotito de los Martínez.

Perforaciones.

En la chapopotera que se encuentra en la base del cerro llamado Chapopotal, cerca del rancho Santa Teresa, existe una perforación antigua; el tubo se levanta más de un metro sobre el nivel de la chapopotera; y por ese tubo brota chapopote fluido acompañado de gases. A veinte metros al Este de la perforación anterior, abrió otra la «Mexican Petroleum & Liquid Fuel Co. Ltd.» de Comalteco. Esta última perforación tenía en Abril de 1902, ciento cincuenta metros de profundidad, y había cortado arcillas, margas y chapopote fluido. Las margas cortadas son de color gris azulado.

En la chapopotera situada en la falda Poniente del cerro llamado Chapopotal, al Norte del arroyo y hacienda Chapopote, existe una perforación antigua, por la cual brota chapopote fluido. Cerca de la perforación anterior, la Compañía que acabo de mencionar comenzaba á abrir en Abril de 1902, otra perforación.

Ultimamente se han abierto perforaciones en terrenos de Tumbadero y han encontrado chapopote fluido.

Resumen.

Resumiendo los datos anteriores relativos á la región petrolífera de Tuxpan, se puede decir lo siguiente.

La zona petrolífera de Tuxpan se extiende: por el Norte, hasta Tepetzintla, Piedra Labrada y Cerro Azul, y más al Norte se une con la del Cantón de Ozuluama por las cercanías del lugar llamado la Pitahaya; por el Sur, se prolonga para la hacienda Chapopote y los ranchos Tumbadero y Jacubal; por el Poniente llega á Cerro Viejo, Santa Teresa y los Horcones; y al Este está limitada por las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco.

La región petrolífera está constituída por calizas, areniscas y margas apizarradas de color gris azulado, cubiertas en muchas partes por arcillas

1 Véase Lám. II.

amarillentas y por formaciones recientes. Las areniscas, calizas amarillas y margas azuladas, pertenecen al Neógeno.

Las areniscas y margas están cortadas en varios lugares por basaltos pleistocenos.

El Neógeno de esta localidad tiene estructura monoclinal; y aunque las capas que lo constituyen están ligeramente onduladas, formando pliegues muy abiertos y poco levantados, la inclinación general de las capas es de 30° hacia el Norte-Oriente.

Las principales manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo se encuentran: tanto en el contrafuerte que he llamado Tepetzintla como en el de Cerro Azul, desprendidos los dos de la sierra Otontepec ó de Tantima; y se hallan también en la planicie que se extiende de la sierrita Temapache para las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco.

Solamente existen perforaciones poco profundas en los siguientes lugares: dos en la chapopotera que se encuentra en la base del cerro llamado Chapopotal, cerca del rancho Santa Teresa; dos en la chapopotera situada en la falda Poniente del cerro Chapopotal, al Norte de la hacienda Chapopote; y dos en terrenos del rancho Tumbadero. Casi todas estas perforaciones están abandonadas.

Son muchos y muy cercanos los manantiales de chapopote fluido que existen en esta región; y el chapopote brota acompañado de gases combustibles y de una pequeña cantidad de agua sulfurosa.

En todos los lugares en donde se han abierto perforaciones se ha encontrado el chapopote fluido á poca profundidad.

Son muy extensos los escurrimientos de chapopote cerca de las chapopoteras; y son las de esta región las que producen mayor cantidad de chapopote fluido en toda la costa del Golfo, desde Soto la Marina en el Norte, hasta Coatzacoalcos al Sur.

Esta región está muy poco explorada; pero es probable que las perforaciones que se abran en las cercanías del cerro basáltico llamado Chapopote, al N.E. de Tepetzintla, conduzcan á un buen resultado comercial. Igualmente se obtendrá regular cantidad de chapopote fluido al abrir perforaciones en las cercanías de: Cerro Azul, Juan Felipe, Tierras Amarillas, Santa Teresa y Cerro Viejo.

Por las razones que indicaré más adelante creo que los receptáculos petrolíferos subterráneos de esta región, así como los de las otras regiones estudiadas, tienen probablemente la forma de lentes irregulares, aplastadas y de dimensiones relativamente pequeñas.

Los hidrocarburos líquidos de esta región están más ó menos oxidados, son chapopotes como los de las otras regiones estudiadas; pero en la región de Tuxpan parecen encontrarse en mucha mayor cantidad relativa, que en cualquiera de las otras regiones del Golfo indicadas en este estudio.

Las vías de comunicación son fáciles, el clima es sano, y es de desearse que pronto se comience la exploración sistemática y razonada de esta interesante región petrolífera de la costa del Golfo de México.

PAPANTLA

Situación

La región petrolífera de Papantla se encuentra al Poniente y Sur-Poniente de la villa de ese nombre, Cabecera del Cantón de Papantla del Estado de Veracruz. (Véase Lám. II).

De la hacienda Palma Sola, situada al Poniente de Papantla y al Sur-Poniente de Coazintla, la región petrolífera se extiende hacia el Oeste y Sur por los siguientes lugares: Cubas,[1] El Brinco, Tulapilla, Jamaya, Entabladero, Sabaneta, Ojite, Comalteco, Naranjo, Santa Domitila y el Espinal. Más al Sur se prolonga esta región petrolífera por Santa Emilia, San Pedro Miradores y Armadillos, lugares estos situados en la margen izquierda del río Tecuantepec, río que forma parte del lindero entre los Estados de Veracruz y Puebla.

Toda esta zona petrolífera está comprendida: entre los 20°10′ y 20°17′ de latitud Norte; y entre 1°30′ y 1°45′ de longitud Este de México.

La región anterior se encuentra al Norte de Teziutlán, Estación del Ferrocarril Oriental. De esa Estación, y á caballo, se llega en dos días al Espinal, pasando por los lugares llamados: La Garita, Cuauxocota y el Paso de las Palmas. Este es el itinerario más corto y más cómodo para ir á la región petrolífera de Papantla; porque de Tuxpan para la misma región se emplean tres días á caballo, pasando por el rancho de La Peña, el río Cazones, los ranchos Caristay y El Aguacate, las villas de Papantla y Coazintla, la hacienda Palma Sola y el rancho de Cubas. Además, de México á Teziutlán se llega por ferrocarril en una noche y medio día; y de México á Tuxpan se emplean tres días.

Estando ya en el Espinal, se puede conocer lo más interesante de esta región petrolífera de la manera siguiente. Abajo del Espinal, y en la margen izquierda del río del mismo nombre, se encuentran las minas llamadas Romero Rubio. Entre el Espinal y Sabaneta están los lugares conocidos con los nombres: Santa Domitila, Naranjo, Comalteco y Ojite. Por último, entre Sabaneta y Cubas se hallan los siguientes lugares: Entabladero, Ja-

1 Conocido ahora con el nombre de Furbero.

maya, Tulapilla y el Brinco. En esta región se encuentra, como se verá adelante, una pequeña zona petrolífera de mucha importancia, y es la que se halla en los alrededores del cerro llamado La Mina de Cubas.

Hasta ahora, como se ve, las vías de comunicación no son muy fáciles en esa zona petrolífera, y se dificulta por lo mismo sacar de ella el chapopote que produce.[1]

El clima en toda esta región es cálido, y algo enfermizo.

Topografía

La villa de Papantla se encuentra entre los ríos Cazones y Tecolutla, aunque á mucha distancia de los dos ríos. De las cercanías de Papantla el terreno desciende por todos lados: hacia el Norte baja por Arroyo Colorado, Aguacate y Caristay para el río Cazones; hacia el Norte-Poniente desciende para Coazintla; por el Sur-Poniente, Sur y Sur-Oriente, baja para el río Tecolutla; y hacia el Norte-Oriente y el Este para el Golfo de México.

El lomerío comprendido entre los ríos Cazones y Tecolutla está surcado por muchos arroyos que descienden: unos, hacia el Norte-Poniente para el río de Cazones; otros, con rumbo al Sur-Este bajan para el río Tecolutla; y otros varios con rumbo al Norte-Oriente descienden para el Golfo de México. Entre los primeros de estos arroyos puedo citar al llamado Coapechapa; entre los segundos se encuentra el San Miguel ó Cañas, y el Tlahuanapa; y entre los terceros citaré el Tepetates, Palo Blanco, y río Tenixtepec.

El río Tecolutla, en Comalteco, se divide hacia arriba en otros dos, llamados: el Tecuantepec, que sube hacia el Sur-Poniente, y el Comalteco que á su vez se divide en dos: el Chimatlán, que sube también hacia el Sur-Poniente; y el río Necaxa que sube hacia el Poniente, pasando por Entabladero, Coyutla y Progreso.

Hacia la parte Poniente del Cantón Papantla se prolonga el lomerío del Este del mismo Cantón, lomerío orientado del Sur-Poniente al Norte-Oriente, y que desciende por el Sur para el río Necaxa, y por el Norte-Poniente para el río San Marcos. Las alturas sobre el nivel del mar varían en este Cantón entre 100 y 300 metros.

El río Tecolutla ya mencionado, baja del Espinal para el Golfo de México con rumbo medio, S.W. á N.E. Al Sur-Oriente de este río, y casi paralelo á él, baja el arroyo Solteros, de Acateno para la Ciénaga del Fuerte. Este arroyo es el lindero entre los Cantones de Papantla y Jalacingo, del Estado de Veracruz.

Entre el río Tecolutla y el arroyo Solteros se levanta un lomerío, desde

1 Actualmente se está poniendo una tubería de Tuxpan para Cubas.

Joloapan y el Pueblito para Cerro Blanco y Mesa Grande, lomerío surcado por el arroyo Chichicatzapa. Este arroyo baja hacia el N.E., y se une al río Tecolutla cerca de la población de este último nombre.

Todo el lomerío que se encuentra en el Cantón de Papantla afecta formas más ó menos arredondeadas; formas debidas principalmente á la erosión que han sufrido las rocas neogénicas que afloran en todo ese Cantón.

De Teziutlán, en el Estado de Puebla, lugar que se encuentra á 1990 metros sobre el nivel del mar, el terreno desciende con fuerte pendiente por la Ventilla (1150), Tatahuicapan (1330) y Zoquitacomul (1100), para la Garita, rancho situado á 710 metros sobre el mar. Con poca pendiente continúa el descenso del terreno por Ayahualco (640), Palmalito (560), San Carlos Texixapa, Las Canoas (530) y hacienda Cuauxocota (500). De este lugar baja el terreno para el río Zopiloapa, y de aquí para Tenexapa y Tenampulco, lugar este situado á 257 metros sobre el mar. De Tenampulco por el arroyo Colorado continúa el descenso del terreno para el Espinal (111). (Véase Lám. II).

Toda la parte comprendida entre Teziutlán y el río Espinal pertenece al Estado de Puebla, y se encuentra en las vertientes septentrionales de la serranía que, hacia el Sur, se levanta hasta la cima del Nauhcampatepetl (Cofre de Perote), volcán que alcanza la altura de 4282 metros sobre el nivel del mar. Desde este volcán y hacia el Norte, el terreno desciende por Las Minas y Tatatila, lugares situados respectivamente en los Cantones de Jalacingo y Xalapa del Estado de Veracruz.

De Jalacingo hacia el Este baja el terreno por el Cantón Misantla para el Golfo de México; y por el Norte–Poniente desciende el terreno de Teziutlán para el río Espinal.

Tlanquitepec está situado al Poniente de Teziutlán; y del terreno comprendido entre estos dos lugares descienden para el Norte multitud de arroyos, de los cuales: se dirigen unos hacia el Norte–Poniente para los ríos Tecuantepec y Espinal; y otros bajan para el Golfo de México directamente, como sucede con el río María de la Torre, el cual más abajo se llama río de Nautla.

Geología de la región

Las rocas que afloran en esta región son en su mayor parte sedimentarias neogénicas, de la división que llamaré Papantla. Estas rocas están cubiertas en partes, sobre todo en las cercanías del Golfo, por formaciones cuaternarias y recientes; y en otros lugares están ocultas bajo una arcilla de color rojizo, ó bajo tierra vegetal.

Las rocas sedimentarias neogénicas están constituídas por calizas fosilíferas de color amarillo, que en gruesos bancos afloran en las cercanías de Papantla, Coazintla y otros lugares. Sobre estas calizas se encuentran are-

niscas, pizarras, margas apizarradas de color gris azulado, y arcillas de color rojizo.

El Neógeno constituído por las rocas antes mencionadas se extiende: de Cubas, por Entabladero, Sabaneta, El Ojite, Naranjos, El Espinal, para San Pedro Miradores; y se prolonga más hacia el Sur-Poniente, hasta apoyarse en las calizas cretácicas que se prolongan para el Estado de Puebla. Por el Norte y Norte-Oriente, el Neógeno se prolonga para el río Cazones; y por el Este se dirige para el Golfo de México, hasta quedar cubierto por las formaciones cuaternarias y recientes de la playa. En las márgenes del río Espinal, por el lugar llamado Ojite, se han encontrado molares de Mastodonte.

Las areniscas y margas apizarradas que se encuentran en esta región, tienen rumbo variable entre 40° N.E. y 45° N.W., con echados al S.E. de 7 á 10°, ó de 20 á 30° al Norte-Oriente. En algunos lugares se encuentran plegadas estas capas, formando anticlinales bastante abiertos por lo general.

Al Norte de Papantla, dieciséis kilómetros, las margas apizarradas tienen 40° N.E. de rumbo, y 7° de echado al S.E. En las cercanías de Sabaneta, las areniscas y margas tienen 45° Norte-Poniente de rumbo, y echado al Norte-Oriente variable entre 4 y 32°.

De Ayahualo para Zoquitacomul, en el Estado de Puebla, se encuentran bancos de caliza cretácica de color gris azulado, caliza que aflora también en las barrancas de Zomelahuacán, Las Minas y Tatatila. Estas calizas están cortadas y en partes cubiertas por las andesitas del Nauhcampatepetl, y en otras partes están cubiertas por labradoritas augíticas ó basaltos pobres de olivino, como sucede cerca del lugar llamado La Garita.

En Sabaneta, en el cerro llamado de la Lumbre, las pizarras, areniscas y margas, forman un anticlinal con rumbo 45° N.W. Las capas más cercanas del eje del anticlinal tienen 32° de echado, inclinación que va disminuyendo poco á poco en las capas más lejanas del mismo eje; pues éstas tienen 23°, 15°, 9° y 4°, como puede observarse en el río Chumatlán, frente al pozo número 7.

En ese mismo cerro llamado de la Lumbre se encuentra una intrusión basáltica. El basalto aflora en la cima del mismo cerro, y en las faldas de este último está cubierto por las pizarras, areniscas y margas, rocas que se hallan plegadas allí, formando el anticlinal que acabo de describir. Este anticlinal coincide con el cerro antes mencionado, en el centro del cual se encuentra el basalto intrusivo, que ha sido cortado por algunas de las perforaciones abiertas en la base del mismo cerro. Esta masa intrusiva de basalto metamorfoseó á las rocas sedimentarias que se hallan en contacto con ella, y sólo aflora, como he dicho, en la cima del cerro de la Lumbre.

Al Sur del río Espinal, en el camino á Teziutlán, afloran los basaltos pobres de olivino, ó labradoritas augíticas, cubiertas á veces por tobas basálticas, desde las cercanías de Sopiloapan, por Cuauxocota, San Carlos

Texixapa y Palmalito hasta La Garita, hacia donde cubren en partes á las calizas cretácicas en gruesos bancos que afloran de Ayahualo para Zoquitacomul.

Manifestaciones superficiales del petroleo del subsuelo.

Las principales manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en Papantla, son las siguientes.

En Cubas, en un cerro llamado la Mina, en terrenos de la hacienda Palma Sola, del Municipio de Coazintla, existen unos manantiales de chapopote líquido en las faldas Oriente y Poniente del referido cerro, y colocados sobre una línea con rumbo 30° Norte-Poniente. En este lugar se encuentran abiertos tres pozos, de sección cuadrada, de un metro por lado; y de los cuales el más profundo alcanzó, según informes, setenta metros de profundidad. En estos pozos se encuentra el chapopote líquido, y uno de ellos está completamente lleno con el referido chapopote.

Cerca de Cubas, en los arroyos Coapechapa y Caliche, así como, en terrenos de Jamaya y en las cercanías del Paso de los Armadillos y hacienda San Pedro Miradores, existen pequeñas chapopoteras que producen chapopote viscoso aunque en pequeña cantidad.

En Ojite, pero sobre todo en las cercanías del Espinal, y en la margen izquierda del río Tecolutla, se encuentran grietas muy angostas que están rellenas de grahamita. En el Espinal, en las minas Manuel Romero Rubio, se emprendieron algunas obras para la explotación de la grahamita, obras que se abandonaron por completo, por no ser estos yacimientos de importancia industrial.

Como se ve, no son muchas las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en el Cantón de Papantla; y son aún menores en los Cantones de Misantla y Jalacingo, en los cuales se encuentra solamente grahamita, principalmente en las márgenes del río Quilate.

Perforaciones

En las cercanías de la zona de contacto entre la masa intrusiva basáltica del cerro de la Lumbre y las sedimentarias de esa región, se han abierto varias perforaciones como se verá en seguida, perforaciones que están en las cercanías del eje del anticlinal en que se halla la intrusión basáltica.

La Compañía inglesa llamada «Mexican Petroleum & Liquid Fuel Co. Ltd. de Comalteco» fué la que exploró la mayor parte de la región de que me ocupo en este capítulo, é hizo las siguientes perforaciones.

En el arroyo Coapechapa existen cuatro pozos: el núm. 1, de 82.40 metros de profundidad; el núm. 2, de 41.90 metros; el núm. 3, de 96.37 metros; y el núm. 4, de 97.76 metros de profundidad. Estos pozos representan una perforación total de 318.43 metros.

En el Brinco, en la margen izquierda del arroyo Coapechapa, existen cuatro pozos: el núm. 1, de 87.99 metros de profundidad; el núm. 2, de 69.86 metros; el núm. 3, de 82.12 metros; y el núm. 4, de 75.42 metros de profundidad. Estos pozos representan una perforación total de 315.39 metros.

En el arroyo Caliche existen dos pozos: el llamado núm. 5, de 87.15 metros; y el núm. 6, de 74.02 metros de profundidad; pozos que representan una perforación total de 161.17 metros.

En terrenos de Sabaneta, entre los ríos Chumatlán y Coyutla, existen siete pozos que representan una perforación total de 2,116.79 metros, repartidos de la siguiente manera: el núm. 1, con 378.17 y que ha cortado varias capas de arenisca; el núm. 2, con 187.13, en el que se encontró agua salada y pocos gases combustibles, y ha cortado capas de arenisca, encontrándose una oquedad en el fondo; el núm. 3, con 349.12, ha cortado capas de arenisca, y encontró á tres niveles agua salada y gases combustibles; el núm. 5, con 251.76, y alcanzó vestigios de petróleo; el núm. 6, con 408.61, cortó grietas rellenadas con grahamita; el núm. 7, tenía en Marzo de 1902, 364 metros; y el núm. 8, en la misma época, tenía 178 metros de profundidad.

En Ojite existe un pozo de profundidad que no pude conocer, y en el cual se encontró una grieta con algo de chapopote.

En Comalteco existe un pozo de 145.07 metros de profundidad, que no encontró chapopote ni gases combustibles.

En Santa Domitila existen dos pozos: el número 1 de 363.09 metros; y el número 2 de 734.56 metros de profundidad. Estos pozos cortaron calizas y pizarras, y también grietas angostas rellenadas por grahamita.

En Santa Emilia hay dos pozos que no alcanzaron chapopote, y de los cuales el número 1 tiene 143.28 metros de profundidad.

De los veintitrés pozos anteriores, que representan una perforación total de 4,297.78 metros, sólo estaban en trabajo en 1902, los llamados número 7 y número 8 de Sabaneta. Después se abandonaron todos esos pozos, y se suspendió la exploración en esa región por no haber alcanzado éxito comercial alguno.

En las cercanías del cerro llamado la Mina de Cubas, ó Furbero, se han perforado últimamente cuatro pozos. De estos pozos, el número 2 con una profundidad de 423 metros, está produciendo diariamente sobre 500 barriles de chapopote fluido. Esta exploración ha comprobado la creencia que tuve acerca de los alrededores de Cubas, cuando informé acerca de esa región en 1902, pues la consideré de importancia industrial aunque de corta extensión.

Por los resultados obtenidos en la exploración de los terrenos de Tulapilla, Comalteco, Los Naranjos y el Espinal; y teniendo en cuenta también, que en la zona de contacto entre la masa intrusiva basáltica del cerro de la Lumbre, y las rocas sedimentarias de esa región no existen chapopoteras,

ni se encontró chapopote en regular cantidad con los pozos allí abiertos en las cercanías del eje del anticlinal, que forma al mismo cerro de la Lumbre, creo fundado decir que: la región pretrolífera de Papantla es relativamente la de menor importancia comercial de las que he estudiado en la costa del Golfo de México, exceptuando únicamente los alrededores de Cubas, zona ésta que puede decirse es de tanta importancia y valor comercial como las zonas de Tuxpan y el Ebano, pero es de mucha menor extensión que estas últimas.

Resumen

La región petrolífera de Papantla se extiende del cerro llamado la mina deCubas, por Tulapilla, Jamaya, Entabladero, Sabaneta, Santa Emilia, Ojite, Comalteco y Naranjos, para el Sur del río Espinal, hasta San Pedro Miradores.

Toda esta región está constituída por calizas, pizarras, areniscas y margas, pertenecientes al Neógeno, rocas que se apoyan hacia el Sur–Poniente en las calizas cretácicas que se prolongan para el Estado de Puebla.

Las rocas neogénicas anteriores están cortadas en el cerro de la Lumbre por una masa basáltica intrusiva, que metamorfoseó á las rocas sedimentarias en la zona de contacto con estas últimas.

Son pocas las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en esta región; y como chapopoteras verdaderamente interesante desde el punto de vista industrial, sólo se pueden citar las del cerro de la Mina de Cubas, ó Furbero. En la zona de contacto entre la masa basáltica intrusiva y las rocas sedimentarias en Sabaneta, no existe ninguna chapopotera, ni encontraron chapopote en regular cantidad los pozos abiertos en esta zona.

En los terrenos de Tulapilla, Comalteco, los Naranjos, Sabaneta y el Espinal, se abrieron veintitrés perforaciones sin ningún éxito comercial; y en los alrededores de Cubas se han abierto cuatro pozos, uno de los cuales produce sobre 500 barriles diarios de chapopote fluido.

Parece fundado decir que: la región petrolífera de Papantla es relativamente de poco valor comercial; y solamente los alrededores de Cubas son de importancia y valor comercial, pero esta última zona es de corta extensión.

ISTMO DE TEHUANTEPEC

Situación

Las manifestaciones superficiales del petróleo en el Istmo de Tehuantepec se encuentran: entre los 17°-35′ y 18°-5′ de latitud Norte; y entre los 4°-5′ y 5°-15′ de longitud Este de México. Esta zona ocupa una gran parte de los Cantones de Acayucan y Minatitlán del Estado de Veracruz, los cuales están limitados: al Norte, por el Golfo de México; y al Sur, por el Estado de Oaxaca. Acayucan está lindando por el Poniente con los Cantones de Cosamaloapan y Tuxtla del Estado de Veracruz, y por el Oriente con el Cantón de Minatitlán; y este último linda también por el Oriente con el Estado de Tabasco.

Las vías de comunicación son fáciles, pues hay ferrocarril desde la ciudad de México hasta el Istmo de Tehuantepec; y puede recorrerse cómodamente todo el terreno petrolífero del Istmo subiendo los ríos en embarcaciones pequeñas, y haciendo uso: del camino carretero entre Acayucan y Minatitlán; y del Ferrocarril Nacional de Tehuantepec, entre Coatzacoalcos y la Estación de Medias Aguas.

Topografía

Hacia el Sur del Cantón de Minatitlán, y en terrenos pertenecientes al Estado de Oaxaca, se levanta la sierra llamada del Istmo, la cual corta á éste de Oriente á Poniente, y está formada por los cerros llamados Saravia, Tarifa y Chimalpa. Esta sierra de poca altura, 250 metros sobre el nivel del mar, establece la división hidrográfica en el Istmo, y separa las aguas que descienden por el río Coatzacoalcos para el Atlánticó, de las que bajan para el Pacífico por el río Tehuantepec. (Véase Lám. III.)

Al Norte de la sierra del Istmo se extienden vastas llanuras, que con muy suave pendiente bajan de Acayucan para el Este y de San Cristóbal para el Oeste, planos ligeramente inclinados que se reunen hacia abajo en el río Coatzacoalcos.

Las planicies anteriores, así como la sierra del Istmo, están cubiertas por

rica y variada vegetación, selvas casi vírgenes que se hallan cortadas por el río Grande ó Coatzacoalcos, y por sus numerosos afluentes. Entre estos citaré como principales: los ríos Chalchijapa, Coachapan y Uspanapa en la ribera derecha; y los ríos Saravia, Jumuapa, Xaltepec, Naranjo, Pajapan y Tierra Nueva, hacia la margen izquierda del mencionado río.

En los alrededores de Sayula se encuentran lomas que separan á las aguas que por el Poniente descienden para el río San Juan, de las que por el Oriente bajan para el río Coatzacoalcos.

En varios lugares de la planicie que desciende de la sierra del Istmo para el Golfo de México, hay pequeños cerros aislados, de poca elevación, y que interrumpen la monotonía de la extensa planicie que desciende para el Golfo. Entre estas pequeñas eminencias puedo citar: los cerros llamados de la Cantera, en Medias Aguas, los de Chinameca, los de Jáltipan y los muy bajos de Chapo y San Cristóbal. La forma de estas eminencias es arredondada; y como se ve, es muy poco accidentado el relieve del terreno en esta parte del Istmo de Tehuantepec, zona que es la única petrolífera en esa región.

Una gran parte de la zona de que me ocupo es pantanosa; y en varios lugares se encuentran lagunas que se reunen entre sí en tiempo de lluvias, y desaguan en los ríos ya indicados.

Las lluvias son muy abundantes en el Istmo, se inundan varios lugares, y es cálido el clima de toda esa región.

Geología de la región

Las rocas que se encuentran en el Istmo de Tehuantepec son sedimentarias en su mayor parte: terciarias, á veces cubiertas por formaciones cuaternarias, hacia el Norte; cretácicas en el centro y Sur; y arcaicas en las cercanías de Tehuantepec.

Cerca del puerto de Coatzacoalcos se levantan médanos relativamente pequeños, conquistados ya por la vegetación; y en los meandros del río del mismo nombre se hallan extensos manglares. Más al Sur, y también hacia el Poniente del río Coatzacoalcos, se encuentran capas cuaternarias constituídas por arcilla, arena y grava, así como, aluviones de río que se extienden para el Sur de Minatitlán.

Las capas cuaternarias son prácticamente horizontales, y se hallan en estratificación discordante con las capas terciarias que cubren, y que han sido cortadas por los tajos del Ferrocarril Nacional de Tehuantepec desde el kilómetro 35, cerca de la Estación de Chinameca. Estas capas terciarias afloran también más al Norte de este lugar, en el rancho Trujillo, cercano del llamado Chapopote.

Las capas cuaternarias cubren en gran extensión á las terciarias, pero el espesor de las primeras es pequeño; pues á poca profundidad, tanto en

los tajos del ferrocarril como en las perforaciones exploradoras, aparece el Terciario de la localidad.

El Terciario está formado por capas de margas de color gris ó gris azulado, plásticas ó duras, á veces apizarradas; y entre las cuales se hallan capas de arena suelta, ó de arenisca á veces calcárea, y otras veces silizosa y dura, como la que aflora en las cercanías del pueblo de Sayula.

El Terciario aflora en el Istmo en varios lugares como son: en el rancho Trujillo, situado á seis kilómetros al Norte de Chinameca; en los tajos del Ferrocarril Nacional de Tehuantepec, abiertos en los kilómetros: 35, cerca de Oteapa; 70, al Norte de Almagres; 104, cerca de Tortugas; 124 y 127, cerca de la margen izquierda del río Xaltepec; al Sur de Santa Lucrecia; en las cercanías de Sayula; y por último, en las riberas del río Coachapan, cerca de los ranchos Buenavista, Cocuite, San Cristóbal y el desembarcadero de Amesquite.

Las margas grises ya mencionadas son fosilíferas en los kilómetros 35, 70, 104, 124 y 127 del Ferrocarril de Tehuantepec. Todos los fósiles colectados por el Dr. Böse, mi compañero de excursión en el Istmo, y por mí, en las localidades anteriores, fueron clasificadas por el mismo Dr. Böse, como pertenecientes al Mioceno superior y Plioceno.[1]

El Neógeno anterior se extiende desde el Sur de Coatzacoalcos, por Chinameca, Sayula, San Cristóbal y Santa Lucrecia, oculto á veces, como he dicho, por los aluviones, arena y grava, hasta cerca de la Estación de Palomares, ó sea, hasta el kilómetro 164½ del Ferrocarril de Tehuantepec. En el kilómetro anterior aflora el Mesocretácico, formado por caliza de Rudistas, y en estratificación discordante con las capas terciarias antes mencionadas. Más al Sur, desde Mogañé aparecen las areniscas y pizarras sobre las cuales se apoyan las calizas mesocretácicas, sobreposición que se observa en varios lugares, al bajar la sierra del Istmo, de Chivela para la Estación de Río Verde. En las cercanías de Tehuantepec aflora el Arcaico, constituído por gneiss amphibólico y leptynita intercalada. Por último, en el puerto de Salina Cruz se encuentran las granulitas de la costa del Pacífico.

Las rocas sedimentarias que constituyen el Terciario del Istmo de Tehuantepec están por lo general poco consolidadas; y la presencia de tallos de plantas é impresiones de hojas en las margas, como se encuentran en el kilómetro 124 del ferrocarril tantas veces mencionado, prueba que el depósito de esas margas se verificó en aguas poco profundas, cuando el mar invadía en anchas zonas la región del Golfo.

Además de las rocas anteriores, debo mencionar una caliza cristalina en grandes blocks, surcada por multitud de grietas. Esta caliza, probablemente cretácica, y con seguridad preterciaria, constituye arrecifes que afloran en varios lugares, y entre los cuales mencionaré los siguientes: el ran-

1 Véase: Boletín del Instituto Geológico de México. Núm. 22. Págs. 11 á 17.

cho el Alquitrán, al S.W. de San Cristóbal; cerca de Chinameca; y en Medias Aguas, en donde constituyen los pequeños cerros llamados la Cantera y Cabeza de Perro.

Estructura general

El Neógeno marino del Istmo de Tehuantepec se encuentra ligeramente plegado formando un anticlinal, asimétrico, muy abierto, descopetado por la erosión, y cuyo eje tiene rumbo variable entre 75 y 80° N.W., cerca de Sayula. Este eje sufre una pequeña inflexión al Poniente de San Cristóbal, y en este último lugar es Oriente-Poniente. El eje de este anticlinal pasa un poco al Norte de Sayula, entre la Estación de Ojapa y el kilómetro 70 del Ferrocarril Nacional de Tehuantepec, y un poco al Sur de San Cristóbal.

El flanco Norte del anticlinal anterior desciende en el desembarcadero de Amesquite, en el río Coachapan, afluente del Coatzacoalcos, con una pendiente de 35°, echado que en San Cristóbal es de 20°, en Cocuite 15°, y solamente 13° al Norte del rancho Celestino Pérez, situado también en el río Coachapan, y al Sur de Minatitlán. En el rancho Trujillo, sobre el flanco Norte del mismo anticlinal las capas terciarias, con rumbo E.W., descienden hacia el Norte con una inclinación de 30°. Hacia el Sur, el flanco del anticlinal desciende con echado de 50° en el kilómetro 70, con pendiente de 30 y 20° en Sayula, echado al Sur que sólo es de 8° en los kilómetros 104 y 124, y las capas se encuentran casi horizontales en Santa Lucrecia, ó sea, en el kilómetro 127 del Ferrocarril de Tehuantepec.

Como se ve, es muy abierto el anticlinal mencionado, pues empieza á levantarse suavemente al Sur de Coatzacoalcos, se eleva con mayor pendiente por Cocuite, llega á su cresta cerca de San Cristóbal, después desciende con fuerte pendiente hacia el Sur por el kilómetro 70, el echado disminuye notablemente del kilómetro 70 al 124, y las capas llegan á ser horizontales hasta Santa Lucrecia; de donde se deduce que: la amplitud de este anticlinal es aproximadamente 70 kilómetros.

Prolongando hacia el Este el eje del anticlinal mencionado, y con el rumbo E.W. que tiene en San Cristóbal, después de sufrir la inflexión ya indicada, se llega á La Laja y Baño de Tigre, lugares situados muy cerca de la isla Xhucuapa. Esta isla se encuentra limitada al W. por el río Playas, y al Este por el río Pedregal, ríos que al reunirse forman el Tancochapa, y éste desemboca en la barra de Tonalá para el Golfo de México.

Además del anticlinal anterior, que llamaré anticlinal San Cristóbal, las capas margosas terciarias, casi horizontales en Santa Lucrecia, se levantan un poco para formar otro anticlinal asimétrico y muy cerrado al Sur de este lugar, y muy cerca de la Estación Cárdenas. De esta Estación hacia el Sur, continúan las capas de marga con suaves ondulaciones, hasta poyarse sobre las calizas mesocretácicas que afloran en el kilómetro 164½.

La ausencia de varios pliegues paralelos en las capas terciarias del Istmo, indica la pequeñez relativa de los esfuerzos horizontales de compresión á que ha estado sometida la planicie de la costa del Golfo en esa región.

Las capas cretácicas están muy plegadas, formando anticlinales y sinclinales muy cerrados, como puede observarse en el río Malatengo, al Norte de Rincón Antonio; siendo variable entre 45 y 80° N.W. el rumbo de las calizas y areniscas de esa localidad.

Las capas terciarias están agrietadas en varias direcciones, tanto en las cercanías del eje del anticlinal San Cristóbal como al pie ó terminación del mismo anticlinal. En las cercanías de Sayula se observan grietas de rumbo 24° N.E. con echado de 82° al S.E.; y en el kilómetro 124 existen grietas, casi verticales, con rumbo variable entre 35° N.E. y 58° N.W.

Manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo

Las manifestaciones petrolíferas en el Istmo de Tehuantepec se encuentran solamente en el Neógeno de la localidad, en los flancos del anticlinal San Cristóbal; y se extienden: al Norte, hasta el rancho Chapopote; al Sur, hasta Medias Aguas y río Naranjo; al Poniente, hasta Sayula; y al Este, por San Cristóbal para la isla Xhucuapa. (Véase Lám. III.)

Subiendo por el río Coachapan hasta el desembarcadero de Amesquite, situado en la margen izquierda de ese río, y caminando después un kilómetro hacia el Poniente, se llega á la laguna Las Salinas, la cual en tiempo de lluvias comunica con las llamadas La Trinidad, Los Juanes, Macayas, Las Calzadas y Otapa, lagunas que desaguan en el río Coatzacoalcos. Esta comunicación fluvial en tiempo de lluvias es casi perfecta; pero se interrumpe en las secas, quedando separadas las anteriores lagunas.

En la ribera derecha de la laguna Las Salinas, en terrenos de Otapa, se encuentra el lugar llamado Chapo, y en éste existe una manifestación petrolífera que consiste en una chapopotera, con chapopote viscoso que ha impregnado á la arcilla y arenas superficiales, impregnación que ocupa una superficie circular de treinta metros de diámetro aproximadamente. Este manantial de chapopote no produce nada en la actualidad, y el escurrimiento anterior fué sin duda insignificante, como lo comprueba la pequeña superficie que ocupa el chapopote derramado en ese lugar. Muy cerca de la anterior se encuentra otra chapopotera de muy poca importancia también.

En Chapo, cerca de las chapopoteras anteriores, se halla un cerrito de muy poca elevación formado por la caliza cristalina en grandes blocks ya mencionada. Esta caliza, que constituye los arrecifes preterciarios de la región, está muy agrietada, y en algunas de esas grietas se encuentra chapopote muy viscoso, á veces duro, y siempre en pequeñas cantidades.

En la ribera izquierda de la misma laguna, frente á Chapo, y á unos

200 metros de este lugar, se encuentra el rancho llamado El Alquitrán. Allí hay otro arrecife calizo preterciario, como el de Chapo, arrecife que constituye una pequeña elevación. En este cerrito no se encuentra chapopote; pero se halla en su pie, y hacia el rancho El Alquitrán, un manantial de agua salada y sulfurosa, agua que al airearse deposita pequeña cantidad de azufre. El gasto de este manantial es sumamente pequeño, y la temperatura del agua es igual á la atmosférica.

Al Norte-Poniente de Chapo, bajando un kilómetro por la ribera izquierda de la laguna Las Salinas, se encuentra el rancho de este último nombre, en el cual hay un pozo de poca profundidad, y que contiene agua salada y sulfurosa. Esta agua evaporada deja un residuo que usan en aquel lugar como sal de cocina. A veinte metros distante de este pozo y en una zanja pequeña, escurre por las grietas de la arcilla superficial pequeñísima cantidad de chapopote viscoso.

En la margen derecha del río Coachapan, al N.E. del desembarcadero Amesquite y cerca de este lugar, se encuentra el rancho San Cristóbal. Al S.E. de este rancho y á dos kilómetros aproximadamente, se halla un manantial de chapopote fluido y de producción insignificante; pero que ha impregnado al terreno en una superficie circular de 20 metros de diámetro poco más ó menos, dentro de la cual el chapopote fluido llena pequeñas oquedades de poca profundidad. Esta chapopotera, la más interesante de esa región, se encuentra casi al Este de la de Chapo antes mencionada.[1]

Más al Este de Chapo, y cerca de la isla Xhucuapa, según informes de varias personas, se encuentran manifestaciones petrolíferas importantes en los lugares llamados: La Laja y Baño de Tigres, lugares que no pude visitar cuando estudié la región de que me ocupo en esta parte de mi estudio.

Al Sur-Poniente de Chapo, y en la margen derecha del río Coatzacoalcos, existe un manantial muy pequeño de chapopote viscoso en el lugar llamado Coapiloloya.

Al Poniente de Chapo, al Sur-Poniente de Acayucan, y á 16 kilómetros al Oeste de la Estación Almagres, ó del kilómetro 69 del Ferrocarril Nacional de Tehuantepec, se encuentra el pueblo de Sayula. Al Poniente de este pueblo y á dos kilómetros de distancia, en una zanja pequeña, hay un pozo como de un metro de profundidad conocido con el nombre de «Pozo 4»; en el cual, y por una grieta de las margas terciarias ha brotado una cantidad insignificante de chapopote viscoso. A unos 10 metros del pozo anterior hay otro, llamado «Pozo 5,» en el cual se encuentran las mismas capas terciarias que en el «Pozo 4»: arena encima; después margas; y en seguida, otra capita de arena con olor de petróleo muy poco perceptible.

1 Las chapopoteras de Chapo y San Cristóbal fueron descritas en 1872 por John C. Spear, véase Report on the geology, mineralogy, natural history, &c., &c., of the Isthmus of Tehuantepec. Washington. 1872. Págs. 103 y 104.

Como á 200 metros al Este de los pozos anteriores me enseñaron otros tres, en los que algunas personas han pretendido encontrar manifestaciones del petróleo del subsuelo. En estos últimos pozos se halla lo siguiente: En el «Pozo 1,» un charco de agua en el cual se desprenden pequeñas cantidades de gas de pantanos. En el «Pozo 2,» que es una pequeña oquedad llena de agua, nada interesante se observa; pero se cuenta de este lugar la historia inverosímil de que en otro tiempo brotó allí mucho petróleo, del que no queda ni el más insignificante vestigio. Por último, en el «Pozo 3,» y casi en la superficie del terreno, se encuentra una capita turbosa insignificante; y á un metro más abajo, profundidad total del pocito, se hallan las margas, con azufre y yeso en muy pequeñas cantidades.

Al Norte del pueblo llamado Jáltipan, y á unos seis kilómetros de distancia, se encuentra el lugar conocido con el nombre de Potrerillos de Buenavista. En este lugar y cerca del arroyo del Salitre, hay varios pero muy pequeños manantiales de chapopote viscoso, con gasto insignificante, y que sólo han podido impregnar la superficie del terreno en cortísima extensión.

Al Norte del pueblo Chinameca, y cerca del rancho Trujillo, se encuentra la laguna Tatanapa. Muy cerca de esta laguna, y en terrenos de Tonalapa, se halla el rancho llamado Chapopote, junto al cual hay un pequeño pantano en el que se halla muy poco chapopote viscoso revuelto con arena.

Cerca de la Estación Medias Aguas, en el kilómetro 98 del Ferrocarril Nacional de Tehuantepec, se encuentra el cerro de La Cantera, que es otro arrecife formado también por calizas preterciarias en grandes blocks y muy agrietadas. Por las grietas de esta caliza han circulado aguas superficiales, las cuales, por contener bióxido de carbono, disolvieron en parte á la caliza, y han depositado el carbonato de cal, formando estalactitas, en las pequeñas cavidades de la misma caliza. En algunas de las grietas, y en las pequeñas cavidades de la caliza, se encuentra á veces chapopote fluido en pequeñísimas cantidades; y además, la caliza tiene en algunas partes un poco de yeso y un poco de azufre libre.

En la margen izquierda del río Coatzacoalcos, un kilómetro abajo de la desembocadura del río Naranjo, hay un manantialito insignificante de chapopote viscoso.

En Pajapan, cerca del río Tatagapa, en el potrero de la Encantada, hay una pequeña manifestación petrolífera semejante á la del rancho Chapopote ya descrita.

Por último, se dice que en Ixhuatlán hay otra chapopotera que no me fué posible visitar.

Las manifestaciones petrolíferas superficiales antes indicadas se pueden agrupar de la siguiente manera. (Véase Lám. III). En las cercanías, y casi sobre el eje del anticlinal que he llamado San Cristóbal, se encuentran, de Poniente á Oriente, las que siguen: primero, las insignificantes de Sayula; luego, la de Chapo que es un poco más importante; en seguida, la

de San Cristóbal, mucho más importante; y por último, las de La Laja y el Tigre, que según informes, son también de importancia. En el flanco Norte del mismo anticlinal, y casi en la terminación de éste, se encuentran las manifestaciones petrolíferas de Chapopote é Ixhuatlán, colocadas estas dos en una línea paralela al eje del anticlinal. En el flanco Norte del anticlinal se encuentran también las de Potrerillos de Buenavista, cercanas de Jáltipan. En el flanco Sur del mismo anticlinal San Cristóbal, y cerca de la terminación de éste, se encuentran las de Medias Aguas y Naranjo, colocadas en una línea casi paralela al eje del referido anticlinal. Por último, en el flanco Sur de este mismo anticlinal, y al Sur de Potrerillos, se hallan la chapopotera de Pajapan, y la de Coapiloloya.

Además de las manifestaciones petrolíferas antes indicadas, busqué las siguientes, de las cuales se hace mención en el periódico llamado El Minero Mexicano.[1]

En la publicación citada se indica la presencia en el Istmo de Tehuantepec de los siguientes manantiales de petróleo. «Trece manantiales de petróleo, nafta, alquitrán, etc.: tres en el rancho de Buenavista; uno en terreno de Tonalapa llamado Chapopote; otro al lado derecho del camino de Minatitlán á Cosoleacaque; otro al lado izquierdo del mismo camino; otro en la primera loma al Poniente del arroyo Corpal y á la izquierda del mismo camino; otro al lado izquierdo del mismo camino y cerca de la casa del Sr. Vasconcelos; otro al lado derecho del citado camino, donde el arroyo del Obispo le atraviesa, lado izquierdo del citado arroyo y cerca también de la casa del Sr. Vasconcelos; otro en el referido camino, lado derecho, en terrenos del rancho de D. Agustín Torres; otro en el rancho llamado Santa Clara, y otro en el rancho de Tacoteno. Cinco criaderos de petróleo situados en la casa conocida por Gerard, en la población de Minatitlán.»

El resultado de mis investigaciones con respecto á las localidades anteriores fué el siguiente: El Sr. Ramón Vasconcelos, propietario de algunos de los terrenos antes indicados y con quien hablé en Chinameca, me dijo que: nunca había visto semejantes manifestaciones en sus terrenos, ni en el arroyo del Obispo, llamado también de las «Piedritas,» ni en el camino de Cosoleacaque á Minatitlán, ni en el rancho Tacoteno; sino que un Sr. Weed fué quien habló de esas manifestaciones. El mismo Sr. Vasconcelos, D. Germán Fúschera, y otros vecinos antiguos de Minatitlán me informaron que: en la casa de Giraux (no Gerard) en Minatitlán nunca había existido petróleo en los pozos. El mismo Sr. Fúschera, que es dueño del rancho Buenavista, situado en la margen izquierda del río Chichigapan, que más abajo se llama río Uspanapa, me indicó que: se había dicho existían en ese rancho manifestaciones del petróleo del subsuelo, pero lo cierto era que intencionalmente se había derramado por allí un barril de petróleo. Por último, busqué todas las localidades antes mencionadas, identifiqué muchas

1 El Minero Mexicano. Tomo VI. Núm. 42. Julio 17 de 1879. Págs. 501 y 502.

de ellas, pero sin encontrar ningún vestigio de petróleo. Por los motivos anteriores creo fundado decir que: son inexactas todas las noticias que se han publicado respecto á las manifestaciones petrolíferas de las localidades antes mencionadas, excepto la de Tonalapa.

Descritas ya las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en el Istmo de Tehuantepec, hablaré ahora de las perforaciones exploradoras que se han ejecutado en aquella región.

Perforaciones

Las perforaciones que se hallan en esta región han sido ejecutadas por cuenta de la casa S. Pearson & Son Ltd., y están abiertas: en Chapo, cerca de San Cristóbal; y en Potrerillos, cerca de Jáltipan.[1]

En Chapo se encuentran los siguientes pozos:

El «Núm. 1,» llamado «El Chato,» se perforó en la misma chapopotera de Chapo, alcanzó una profundidad de 320.25 metros, y está ahora abandonado. No se conservaron ejemplares de esta perforación, y sólo pude obtener los siguientes datos: el pozo cortó capas de marga; capas delgadas de arena, conteniendo á veces un poco de yeso y azufre; y á distintas profundidades brotó el chapopote fluido, pero siempre en cantidad insignificante.

El «Pozo 2» de Chapo se perforó á unos trescientos metros distante del anterior, no ha producido chapopote; y ha cortado, según el examen que hice de las rocas extraídas, las siguientes capas:

En la superficie	arcilla.
De los 3.35 á los 9.45 metros	arena.
A los 12.50 metros	chapopote viscoso.
,, ,, 15.25 ,,	marga gris.
,, ,, 30.50 ,,	caliza.
,, ,, 45.75 ,,	caliza amarillenta de grano fino.
De los 61 á los 152.50 metros	marga gris apizarrada.
A los 167.75 metros	arenisca calcárea, y se encontró agua salada.
,, ,, 198.25 ,,	marga gris.
,, ,, 213.50 ,,	marga y arena.
,, ,, 224.17 ,,	caliza y yeso con poco azufre.
,, ,, 230.27 ,,	arena.
,, ,, 250.10 ,,	arena con azufre.
,, ,, 259.25 ,,	yeso con poco azufre.
,, ,, 265.35 ,,	caliza y yeso con azufre.
,, ,, 273.00 ,,	caliza y yeso con azufre.
De los 274.50 á 305 metros	marga con poco yeso.
A los 306.52 metros	marga con caliza y azufre.

La profundidad de este pozo es en la actualidad 307 metros y continúa perforándose con maquinaria Standard. Los diámetros de los tubos de fierro que ademan este pozo son: 29 centímetros hasta los 53.37 metros de pro-

1 Los datos siguientes corresponden al mes de Febrero de 1904.

undidad; 24 centímetros desde los 53.37 hasta los 236.37 metros; y 19 centímetros en el resto de la profundidad alcanzada hasta ahora por este pozo.

En el rancho El Alquitrán, y junto al manantial de agua sulfurosa indicado antes, estaba levantada ya una torre (derrick) para perforar en ese lugar el «Pozo núm. 3.»

En Potrerillos, cerca de Jáltipan, se encuentran los siguientes pozos.

El «Pozo núm. 1,» llamado San Juan, se perforó muy cerca de la chapopotera que se encuentra en el arroyo Salitre, ya indicado, llegó á la profundidad de 356 metros, y cortó las siguientes capas, según el examen que hice de los ejemplares extraídos de esta perforación.

De la superficie del terreno hasta 73.20 metros	marga.
A los 84.79 metros	encontró agua salada.
,, ,, 91.50 ,,	marga gris.
,, ,, 106.75 ,,	marga gris.
,, ,, 115.90 ,,	un poco de chapopote fluido.
De los 125.00 á los 143.35 metros	marga gris.
A los 164.70 metros	arena con poco chapopote fluido.
,, ,, 169.27 ,,	marga gris.
,, ,, 170.80 ,,	arena con poco chapopote fluido.
,, ,, 195.20 ,,	marga gris.
,, ,, 208.93 ,,	arenisca con poco chapopote duro.
,, ,, 216.55 ,,	arena con poco chapopote duro.
,, ,, 221.00 ,,	marga gris y arena con poco chapopote.
,, ,, 228.22 ,,	marga gris.
,, ,, 233.00 ,,	arena con poco chapopote.
De los 245.02 á los 247.35 metros	arenisca con poco chapopote.
,, ,, 250.10 ,, ,, 305.00 ,,	marga gris, en partes dura y en otras blanda.
A los 356.00 metros	arcilla plástica gris claro.

Este pozo fué perforado con maquinaria Standard, su producción fué nula, y ahora está abandonado.

El «Pozo núm. 2» de Jáltipan, llamado D. Carlos, se encuentra aproximadamente á 400 metros al Sur del anterior, alcanzó la profundidad de 478.85 metros, y cortó á las siguientes capas.

De la superficie hasta los 27.45 metros	arcilla.
A los 51.85 metros	chapopote fluido.
De los 89.97 á los 160.12 metros	marga gris plástica.
A los 178.42 metros	chapopote fluido.
De los 195.20 á los 244.00 metros	marga gris con ligero olor de petróleo.
A los 302.52 metros	chapopote fluido.
De los 303.00 á los 466.70 metros	marga gris.
,, ,, 466.70 ,, ,, 478.85 ,,	arena con ligero olor de petróleo.

Este pozo se perforó con maquinaria Standard, y está revestido con tubos de fierro de los siguientes diámetros: 29 centímetros hasta los 76.25 metros de profundidad; 24 centímetros desde los 76.25 hasta los 198.25; 19

centímetros desde los 198.25 hasta los 259.25; y 14 centímetros el resto de la profundidad. Cuando se comenzó á bombear produjo este pozo: los primeros días, veinte barriles de chapopote fluido en 12 horas; y después, solamente cuatro barriles. Sin hacer uso de la bomba el chapopote sube periódicamente, cada 8 ó 10 meses, según informes, hasta la boca del pozo; y entonces el escurrimiento natural del chapopote es aproximadamente de cinco litros en 24 horas. Este escurrimiento natural dura dos ó tres meses, y después baja notablemente el nivel del chapopote dentro del tubo. Este pozo no está ya en trabajo.

El «Pozo núm. 3» de Jáltipan se abrió al S.E. y á 100 metros de distancia del «Pozo núm. 2.» Ese pozo alcanzó 122 metros de profundidad, y cortó margas y arenas con vestigios de chapopote á los 67.10, y á los 97.60 metros de profundidad.

El Pozo anterior «núm. 3» fué abandonado; y muy cerca de él, á seis metros de distancia, y al Este, se abrió el segundo «Pozo núm. 3,» actualmente en trabajo, y que ha alcanzado una profundidad de 131 metros. Este pozo ha cortado las siguientes capas.

Desde la superficie hasta los 23.79 metros...........................	arcilla.
,, los 23.79 hasta los 99.12 metros...........................	marga gris.
A los 128.10 metros...........................	muy poco chapopote.
,, ,, 131.00 ,, ...	marga gris.

Este pozo se ha perforado por el procedimiento hidráulico, con una máquina «Rotary drill,» con tubo de 18.3 centímetros de diámetro; y ahora se va á continuar el trabajo con maquinaria Standard. En este pozo el chapopote desciende entre el tubo y el terreno, y se reune en el fondo del pozo; de tal suerte que suspendiendo la perforación el sábado, para el lunes siguiente el chapopote ha subido en el pozo dos metros arriba del fondo; pero durante la perforación sólo suben algunas gotas de chapopote fluido con el agua que sale de la «Rotary.»

Estas eran las únicas perforaciones que se encontraban en la zona petrolífera del Istmo de Tehuantepec en el mes de Febrero de 1904, que fué cuando estudié aquella región. Esas perforaciones habían cortado capas de margas, de caliza gris ó amarillenta de grano fino, areniscas y capas delgadas de arena suelta, conteniendo á veces un poco de yeso y azufre; y á distintas profundidades se había encontrado chapopote viscoso ó fluido, pero en pequeñísima cantidad.

Según las indicaciones que habían proporcionado ya las perforaciones hechas en Chapo y en Jáltipan podía decirse que: son poco gruesas relativamente las capas de arena suelta que se encuentran intercaladas entre las margas grises de esa región; y además la forma de estas capas debe ser en lentes aplastadas. En efecto, los dos pozos «núm. 3» de Jáltipan, distantes uno de otro seis metros solamente, no han cortado á las mismas capas de

arena; y los pozos 1 y 2 de Jáltipan, poco distantes uno de otro, han cortado á las capas de arena con espesores diferentes, lo cual indica la forma en lentes de estas capas,[1] forma que está comprobada también por los siguientes hechos. En las areniscas que afloran en Sayula así como en las capas delgadas de arena suelta que se ven en algunos lugares superficiales no se encuentran manantiales de chapopote, los cuales deberían aparecer en algunas de ellas si fueran continuas las capas permeables petrolíferas,[2] pues los estratos afloran desde el rancho Chapopote hasta Santa Lucrecia, por estar descopetado como he dicho el anticlinal San Cristóbal. Además, el empleo de la bomba en el «Pozo 2» de Jáltipan no hizo aumentar de una manera notable la producción de chapopote lo cual, según Myron L. Fuller, indica la forma en lentes de los receptáculos petrolíferos subterráneos.[3] Las dimensiones de estas lentes petrolíferas son probablemente pequeñas en la región de que me estoy ocupando, porque pozos muy cercanos entre sí no cortan á la misma lente, y la cantidad de chapopote que contienen esas lentes es: ó muy pequeña, ó prácticamente nula, según los datos de producción que indiqué en uno de los párrafos anteriores. Además, las referidas lentes se encuentran muy diseminadas en una gran extensión de terreno, tanto en las cercanías del eje como en los flancos del anticlinal San Cristóbal, desde el rancho Chapopote hasta Medias Aguas, y desde Sayula para San Cristóbal y la Isla Xhucuapa.

En la época de mi visita al Istmo de Tehuantepec sólo dos perforaciones estaban en trabajo: el «Pozo núm. 2» de Chapo, y el segundo «Pozo número 3» de Jáltipan; y sólo el «Pozo núm. 2» de Jáltipan había producido chapopote, aunque periódicamente y en muy pequeña cantidad.

Las muestras de chapopote que tomé de las chapopoteras de Chapo y San Cristóbal, así como, del que brota periódicamente en el «Pozo núm. 2» de Jáltipan, se analizaron en el laboratorio de Química del Instituto Geológico de México, y los resultados se encuentran más adelante en un capítulo especial.

En el informe que rendí en Abril de 1904 (pág. 46) relativo á la región petrolífera del Istmo de Tehuantepec, sólo recomendé se hiciera una perforación de mil metros de profundidad en las cercanías de la chapopotera San Cristóbal. Decía yo entonces: que esta perforación suministraría datos muy importantes acerca de las condiciones de las capas á gran profundidad; y que en la parte superficial se obtendrían resultados semejantes á los del «Pozo 2» de Jáltipan; es decir, que se cortarían grietas y lentes con chapopote fluido, aunque este producto se encontraría tal vez en mayor canti-

1 Edward Orton. The Trenton Limestone as a source of petroleum and natural gas in Ohio and Indiana. 8th Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1886–87. Parte II, pág. 511.

2 George I. Adams. Oil and gas fields of the upper cretaceous and tertiary formations of the westerns gulf coast. Bull. U. S. Geol. Surv. N. 184. 1901, pág. 19.

3 Myron L. Fuller. The Gaines Oil field of Northern Pennsylvania. Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1900–1901. Parte III, pág. 604.

dad relativa que en el mencionado pozo de Jáltipan. La perforación anterior se ejecutó, pero no tan profunda como estaba indicado, sino que se suspendió al encontrar al chapopote fluido, el cual brotó acompañado de gases. La producción media de este pozo, según informes, ha sido valuada en cuarenta barriles diarios.

Además de la perforación anterior, y según datos que espontáneamente me han sido suministrados, se han hecho en la zona petrolífera del Istmo, después de mi visita á esa región, las siguientes. En San Cristóbal se hicieron otras dos perforaciones situadas al Norte de la mencionada en el párrafo anterior. En Sayula se ejecutaron perforaciones que no encontraron chapopote. Por último, en Juile y en Chinameca (véase Lám. III) se dice que han empezado á hacerse perforaciones.

Resumen

Resumiendo los datos anteriores, relativos á la región petrolífera del Istmo de Tehuantepec, se puede decir lo siguiente.

La zona petrolífera del Istmo de Tehuantepec se extiende: por el Norte, hasta el rancho Chapopote; por el Sur, hasta la Estación de Medias Aguas del Ferrocarril del Istmo; hacia el Poniente, para Sayula; y por el Este, para los Estados de Tabasco y Chiapas.

La región petrolífera está constituída por margas grises y areniscas intercaladas, pertenecientes al Mioceno superior y Plioceno.

El Neógeno marino está cubierto en parte por formaciones cuaternarias y recientes; y se apoya en estratificación discordante sobre las calizas mesocretácicas.

El Neógeno forma un anticlinal de 70 kilómetros de ancho, cuyo eje pasa por San Cristóbal y por Sayula.

Las principales manifestaciones del petróleo del subsuelo se encuentran casi sobre el eje del anticlinal, ó en líneas paralelas á éste, y situadas en la base del mismo anticlinal.

En el lugar llamado Chapo se han perforado dos pozos sin éxito comercial. En Potrerillos cerca de Jáltipan se han perforado tres pozos, de los cuales sólo uno ha producido periódicamente y en pequeña cantidad chapopote fluido. En San Cristóbal se han abierto cuatro pozos, de los cuales uno ha producido cuarenta barriles diarios de chapopote fluido.

Los receptáculos petrolíferos subterráneos tienen probablemente la forma de lentes irregulares, de dimensiones relativamente pequeñas, y están diseminados en una gran extensión de terreno.

Por último, por las razones que indicaré en otro Capítulo, puede decirse que: desde el punto de vista comercial, no son comparables los receptáculos petrolíferos subterráneos de Beaumont, con los del Istmo de Tehuantepec.

ORIGEN DEL PETROLEO

Y SU

ASOCIACION CON OTROS MINERALES

No es mi propósito discutir ahora las diversas teorías[1] propuestas para explicar la formación del petróleo, y sólo diré que: tanto los geólogos americanos como los de diversas partes del mundo, han desechado la teoría anorgánica,[2] pues aunque presenta ésta sus atractivos, no ha sido comprobada;[3] y en cambio, se puede decir con Klement, que la teoría del origen animal es cada día más aceptada, tanto por los geólogos como por los químicos.[4] Esta plausible teoría, como la llama Frederick Salathe,[5] fué propuesta primero por Höfer,[6] admitida después por los geólogos y químicos alemanes, y se le designa generalmente con el nombre de teoría Höfer-Engler.[7]

Los notables experimentos sintéticos ejecutados por Engler, y perfeccionados más tarde, en 1896, por Heusler,[8] constituyen la base sólida en que se apoya la teoría del origen animal del petróleo. En efecto, Engler llegó á producir un petróleo artificial, semejante en todos aspectos al petróleo natural,[9] por la destilación del aceite de pescado; destilación por

1 Véase Edward Orton. The Trenton Limestone as a source of petroleum and natural gas in Ohio and Indiana. Eighth Annual Report of the U. S. Geol. Survey. 1886-87. Parte II, págs. 485 á 506. Véase también A. Jaccard. Le pétrole, l'asphalte et le bitume au point de vue géologique. Paris. 1895. Pág. 34.

2 W. J. McGee. Rock gas and related bitumens. Eleventh Annual Report of the U. S. Geol. Surv. Parte I. 1889-90. Pág. 609.—Frederick Salathe. Resume of original researches, analyses, and refining methods of petroleum, mainly from the southern counties of California. California State Mining Bureau. Boletín núm. 2. Parte I, 1897. Pág. 73.—Edward Orton. Loc. cit., pág. 609.

3 C. W. Hayes and William Kennedy. Oil Field of the Texas-Louisiana Gulf Coastal Plain. U. S. Geol. Survey. Serie A. Economic Geology. Boletín núm. 212. 1903. Pág. 138.

4 C. Klement. Les théories relatives à l'origine du pétrole. Procés verbaux de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie. Tomo XI. 1897. Pág. 85.—Véase también Francis C. Phillips. Origin of natural gas and petroleum. Am. Chemical Journal. Tomo XVI. 1894, Pág. 417.

5 Loc. cit., pág. 73.

6 Das Erdöl und seine Verwanten. Braunschweig. 1888.

7 C. Klement. Loc. cit., pág. 82.

8 C. Klement. Loc. cit., pág. 84.

9 C. Klement. Loc. cit., pág. 84.

medio de la cual obtuvo la serie completa de parafinas, idénticas á los hidrocarburos del petróleo natural.[1] En apoyo de esta teoría, y como comprobante de mucho valor, existe el hecho de haberse encontrado: bases orgánicas de la serie pyridina y quinolina, en los petróleos de California.[2] La pyridina se había obtenido antes por medio de cadáveres de animales, sometiéndolos á la destilación seca y destructora de la gelatina contenida en la carne y en los tejidos; y ahora se extrae de todas las variedades de petróleo crudo encontradas en Ventura y sus alrededores (California), así como de los productos destilados de estos petróleos.[3] Esta es sin duda una comprobación notable de la hipótesis del origen animal del petróleo. Es muy cierto, como dice Wm. C. Day,[4] que parece razonable atribuir distinto origen á los petróleos tan diferentes que salen por distintos manantiales; pero se comprende también que variando la intensidad del calor y de la presión, una misma substancia orgánica producirá materias carbonosas cuyas propiedades físicas ó químicas serán diferentes; y así, Wm. C. Day ha obtenido en su laboratorio diferentes clases de asfalto artificial destilando, en presencia del agua líquida ó en vapor, materias animales ó materias vegetales, ó las dos reunidas. Por último, aunque parece que no sólo la materia orgánica animal sino también la vegetal[5] puede originar en algunos casos la formación del petróleo, Boverton Redwood dice que: la teoría Höfer–Engler tiene en la actualidad el mayor número de partidarios.[6]

El conjunto de observaciones geológicas hechas en las regiones petrolíferas descritas antes, se concilia[7] con la teoría del origen animal del petróleo; y por lo tanto, puede decirse con fundamento que: el petróleo de la costa del Golfo de México parece ser un producto de la descomposición[8] de la materia animal proporcionada por una fauna marina, que se extinguió paulatinamente al variar el nivel del mar en esa región.

* * *

Acerca de la asociación del petróleo con otros minerales, dice Robert T. Hill lo siguiente: «The bodies of sulphur are probably a by–product of the formation of the oil, which at Spindle Top is not only highly saturat-

1 F. Salathe. Loc. cit., pág. 73.

2 F. Salathe. Loc. cit., pág. 73.

3 S. F. Peckhamn. On the origin of bitumens. Am. Journ. of Science. 3ª Serie. Vol. 48. 1894. Pág. 394.

4 Wm. C. Day. The laboratory production of asphalts from animal and vegetable materials. Am. Chemical Journal. Tomo XXI. 1899. Pág. 498.

5 W. J. McGee. Loc. cit., pág. 613.

6 Wm. C. Day. Loc. cit., pág. 495.

7 G. Klement. Loc. cit., pág. 613.

8 Véase E. Orton. Loc. cit., pág. 613.

ed with sulphuretted hydrogen, but contains by chemical analysis from 1.5 to 3 per cent of sulphur. It was Capt. Lucas who discovered the relation between the sulphuretted hydrogen fumarolas, gas-springs and sulphur incrustations at the surface, and the bodies of subterranean oil, and it was his belief in this association that led him to seek for oil on Spindle Top hill.»[1]

Como en el Istmo de Tehuantepec se encuentra el hidrógeno sulfurado en los dos insignificantes manantiales de agua de Chapo y Salinas ya mencionados; y como también se encuentran pequeñísimas cantidades de azufre en Medias Aguas, en Sayula y en los pozos de Chapo, junto con caliza y yeso; he creído, en vista del párrafo anterior, que estas manifestaciones superficiales son el principal fundamento de la opinión que emitió el Capt. Lucas respecto al terreno petrolífero de Tehuantepec, y que expresó en los siguientes términos: «the oil is there in large quantities, a three week of careful examination and analyses demostrates a rich oil district, with a product of excellent quality.»[2]

No solamente en el Istmo de Tehuantepec, sino también en el Cantón de Tuxpan del Estado de Veracruz, se observa que: acompaña al chapopote, en su emisión, una cierta cantidad de agua conteniendo un poco de hidrógeno sulfurado. Este hecho me obliga á estudiar el valor científico que tenga la asociación del hidrógeno sulfurado, y del azufre, con los yacimientos de petróleo; pues en caso de ser esta asociación siempre constante, y de que las mencionadas manifestaciones superficiales hayan indicado siempre la presencia en el subsuelo de receptáculos de petróleo, de gran valor comercial, apoyaré también en la existencia de esas manifestaciones superficiales la opinión que voy á emitir después acerca de las regiones petrolíferas ya descritas, y de su manera de exploración. En cambio, si el resultado de este estudio es una prueba de que las referidas manifestaciones no son indicio cierto y constante de la presencia del petróleo en el subsuelo, en cantidad industrialmente aceptable, quedará salvada mi opinión de las objeciones que pudieran hacerle más adelante fundándolas en la referida asociación.

Desde el año 1869, F. V. Hopkins, en su informe acerca de la geología de la Louisiana mencionó la asociación del azufre, del yeso y la caliza con el petróleo, asociación que explicó como sigue: el yeso en presencia de una materia orgánica en descomposición, que produzca ácido carbónico, se reduce por la acción de este ácido con formación de caliza, azufre libre y carburos de hidrógeno.[3]

1 R. T. Hill. The Beaumont Oil Field with Notes on other Oil Fields of the Texas Region. Trans. Am. Inst. Min. Eng. 1903. Vol. XXXIII., pág. 375.

2 Mexican Herald. 1904. Núm. 178, pág. 2.

3 George I. Adams. Oil and Gas fields of the upper cretaceous and tertiary formations of the Westerns Gulf Coast. Bull. U. S. Geol. Surv. núm. 184. 1901. Pág. 50.—Véase también C. W. Hayes y William Kennedy. Loc. cit., pág. 139.

La teoría química anterior ha sido llamada intermediaria, entre la orgánica y la anorgánica,[1] porque según ella intervienen en la formación del petróleo: una materia orgánica, la cual por su descomposición produce bióxido de carbono; y una materia anorgánica, el yeso, que se supone es reducido por el ácido carbónico. Esta teoría fué sin duda la que sirvió de fundamento á los Sres. C. W. Hayes y William Kennedy para decir que: el petróleo de la costa del Golfo es debido probablemente, en parte cuando menos, á la acción reductora que ejerció sobre el yeso la materia orgánica animal y vegetal, pero principalmente esta última.[2]

Sería inútil hacer un estudio químico detallado de la teoría de F. V. Hopkins,[3] porque es perfectamente sabido que: el bióxido de carbono no ejerce acción química alguna sobre el sulfato de cal. En efecto, la reacción química que se verifica por completo ó casi por completo es la reacción contraria, es decir, la formación del sulfato de cal y del bióxido de carbono (ácido carbónico), por la acción del ácido sulfúrico sobre el carbonato de cal.

Esta última es una reacción necesaria, no invertible, se verifica á la temperatura ordinaria sin necesidad de la intervención de ninguna energía extraña ó trabajo preliminar que la provoque; es exotérmica, desarrolal 47.8 kilocalorías suponiendo todos los compuestos al estado sólido; y se verifica aun con soluciones muy diluídas de ácido sulfúrico.[4]

Según lo anterior, y como no se verifica la reacción química entre el ácido carbónico y el yeso, puede concluirse con fundamento diciendo que: no es exacta la teoría de Hopkins; y que en la formación del petróleo, el yeso no tiene la intervención supuesta en esa teoría.

La asociación del petróleo con el yeso, el azufre, y el hidrógeno sulfurado, puede explicarse con Braun[5] como sigue. El yeso es reducido por los carburos de hidrógeno[6] con formación de sulfuro de calcio y bióxido de carbono; este último, en presencia del agua, ataca al sulfuro de calcio y se produce carbonato de cal é hidrógeno sulfurado, quedando en equilibrio químico: por una parte, el bióxido de carbono y el sulfuro de calcio; y por otra, el carbonato de cal y el hidrógeno sulfurado (ácido sulfhídrico). Por la acción del oxígeno del aire, ó de las aguas aireadas superficiales, el sulfuro de calcio produce azufre libre; y el hidrógeno sulfurado al oxidarse en pre-

1 C. W. Hayes y William Kennedy. Loc. cit., pág. 139.

2 C. W. Hayes y William Kennedy. Loc. cit., pág. 140.

3 F. V. Hopkins. Report on the geology of Louisiana. 1869.

4 Charles Janet. Transformation artificielle en gypse du calcaire friable des fossiles des sables de Bracheux. Bull. Soc. Belg. de Géol. Tomo VIII. 1894. Pág. 170.

5 George I. Adams. Loc. cit., pág. 51.—Véase también F. S. Hunt. Chem. and Geol. Essays; y S. F. Pecham. The genesis of bitumens, as related to chemical geology. Proceedings of the Am. Phil. Soc. Philadelphia. 1898. Pág. 114.

6 E. Fuchs y H. De Launay. Traité des gîtes minéraux et metallifères. Paris. 1893. Tomo I. Pág. 274.

sencia del agua se transforma en azufre con formación de una pequeña cantidad de ácido sulfúrico.[1]

La extensión de las reacciones anteriores depende sobre todo de la cantidad de agua que circule en el subsuelo; pues el yeso no es muy soluble, y es preciso que se encuentre en solución para que se verifiquen las reacciones anteriores. Según esto: cuando la circulación acuífera subterránea sea muy pequeña, esas reacciones alcanzarán poca extensión, y las manifestaciones sulfurosas superficiales serán insignificantes, aunque exista en el subsuelo gran cantidad de carburos de hidrógeno; en cambio, si la circulación es activa, aunque los hidrocarburos se encuentren en mucha menor cantidad, las reacciones mencionadas serán más extensas, y mucho más notables las manifestaciones sulfurosas superficiales. De lo anterior se deduce que: estas últimas manifestaciones no sirven para calcular la cantidad de hidrocarburos contenidos en el subsuelo. Por otra parte, como las aguas en su circulación interior pueden seguir caminos muy irregulares, y salir á la superficie por puntos lejanos del lugar en que se encuentra el receptáculo petrolífero subterráneo (oil pool), y no siempre por puntos situados en la vertical que pasa por este último, las referidas manifestaciones no sirven tampoco para determinar con exactitud la situación del petróleo en el subsuelo.

Para comprobar las conclusiones anteriores podría citar muchos hechos, pero me conformaré con indicar los que proporciona la exploración de la región petrolífera del Istmo de Tehuantepec. En efecto: en Chapo se encuentra, como he dicho, el manantial de agua sulfurosa del rancho el Alquitrán; además, en los dos pozos que se han perforado allí se han encontrado el azufre y el yeso; y sin embargo, prácticamente ninguno de los pozos de Chapo ha producido chapopote, hasta una profundidad que es ya mayor de 300 metros. En cambio, en Potrerillos, cerca de Jáltipan, no existen manifestaciones sulfurosas en la superficie del terreno, no se han encontrado ni el yeso ni el azufre en los pozos perforados allí; y no obstante, en el «Pozo 2» de Jáltipan se encontró chapopote fluido á los 178 metros de profundidad, y este pozo ha producido hasta 20 barriles diarios del referido chapopote. Creo que los hechos anteriores pueden considerarse como una comprobación de las conclusiones antes indicadas.

Por las explicaciones anteriores se comprende que: para encontrar en la superficie del terreno las manifestaciones sulfurosas mencionadas, no basta la presencia del petróleo en el subsuelo; sino que se necesita también la presencia del yeso, y una corriente de agua subterránea, que después de disolver á este compuesto para que se verifiquen las reacciones anteriores, eleve en disolución hasta la superficie del terreno al sulfuro de calcio y al hidrógeno sulfurado.

En Spindle Top (Beaumont) se han encontrado con las perforaciones

1 Para estudio detallado de estas reacciones véase: J. D. Villarello. Génesis de los yacimientos mercuriales de Palomas y Huitzuco. Memorias de la Sociedad científica Antonio Alzate. Tomo XIX. Págs. 99, 104, 124, 128 y 130.

además del petróleo: dolomita,[1] yeso[2] y agua salada caliente.[3] Ahora bien, el agua, sobre todo cuando tiene en disolución bióxido de carbono, disuelve al yeso;[4] por lo tanto, en Beaumont las aguas calientes subterráneas disolvieron al yeso, hecho que está comprobado por los fragmentos de este mineral que han salido por los pozos, pues la superficie de esos fragmentos estaba siempre corroída, lo cual prueba que estuvieron sujetos á la acción de algún disolvente.[5] Las aguas selenitosas así formadas, al obrar sobre los carburos de hidrógeno producen sulfuro de calcio é hidrógeno sulfurado, compuestos que al llegar en disolución á la parte superficial del terreno, ó zona de oxidación: depositan azufre en las grietas, acidulan las aguas superficiales, si no se encuentran rocas calizas en la superficie, ó en presencia de estas últimas forman depósitos secundarios de yeso.[6] De esta manera quedan explicados los fenómenos químicos observados en Beaumont,[7] y á los cuales ha dado mucha importancia el Capt. Lucas.[8]

En Chapo, lugar comprendido en la zona petrolífera del Istmo de Tehuantepec, se han encontrado con las perforaciones: carburos de hidrógeno, yeso y agua salada, compuestos suficientes para que tengan verificativo las reacciones que indiqué antes. Por lo tanto, aunque en muy pequeña escala, se verifican en este lugar los mismos fenómenos químicos que se observan en Beaumont; pero tanto en estas localidades, como en otras varias en las cuales aparece en la superficie del terreno el hidrógeno sulfurado y el azufre, se encuentra el yeso á la profundidad.

El yeso, cuando no se ha formado por la acción de aguas termominerales sulfurosas, ó por la acción de vapores calientes de agua é hidrógeno sulfurado, puede encontrarse en el subsuelo: ya sea en capas de origen marino; ó mezclado á la sal gema, con la cual está generalmente asociado;[9] ó bien como resultado del ataque de la caliza por el sulfato de magnesia contenido en el agua del mar. De esta acción química resulta, además del yeso, un carbonato de magnesia que en determinadas condiciones se une al carbonato de cal, y forma la dolomita.[10]

1 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit. pág. 70.

2 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit. pág. 71.

3 Robert T. Hill. Loc. cit. págs. 392-396.

4 Arthur M. Comey. Dictionary of chemical solubilities. 1896.—Véase también: G. P. Grimsley and E. H. S. Bailey. Special report on gypsum and gypsum cement plasters. The University Geological Survey of Kansas. Tomo V. 1899. pág. 72.

5 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit. pág. 71.

6 Spezia, Braunn's chemische Mineralogie. pág. 366.—Véase también: George I. Adams. Loc. cit. pág. 52.

7 Robert T. Hill. Loc. cit. págs. 392 y 393.

8 Robert T. Hill. Loc. cit. pág. 397.

9 H. Coquand. Sur l'âge des gisements de sel gemme (Djebel-Mèlah), sur l'origine des ruisseaux salés (Oued-Mèlah) et des lacs salés (Chotts et Sebkéa) de l'Algérie. Bull. Soc. Ghol. de France. 2ª Serie. Tomo XXV. 1867-68. pág. 440.

10 Para detalle de estas reacciones véase F. Sterry Hunt. On the formations of gypsums and dolomites. Quarterly Jour. Geol. Soc. of London. Tomo XVI. 1860. pág. 158.

La asociación de la sal, el yeso y las aguas saladas, con el petróleo, se ha observado en muchas localidades, como en Galicia en donde se encuentra también el azufre libre;[1] pero esta asociación no es constante,[2] ni aun en Galicia.[3] Si la asociación anterior no es constante, si no en todos casos se ha encontrado el petróleo junto con el yeso, la sal, ó las aguas saladas, tampoco puede ser constante la asociación del petróleo con el azufre y el hidrógeno sulfurado, substancias que para formarse requieren, como he dicho antes, la presencia del yeso ó de las aguas selenitosas. Por otra parte, las manifestaciones sulfurosas ya indicadas pueden ser debidas á acciones sulfatarianas, y no á la acción reductora de los carburos de hidrógeno; de donde se deduce que: estas manifestaciones no siempre indican la presencia del petróleo en el subsuelo.

Es cierto que el petróleo crudo de varias localidades, y tanto el superficial como el encontrado á la profundidad, contiene azufre, asociación que podría indicarse como fundamento de la teoría según la cual, el azufre contenido en el petróleo es siempre un producto accesorio á la formación del mismo petróleo; pero como se verá en seguida, el azufre que acompaña al petróleo es anterior ó posterior á la formación del mismo petróleo.

El Prof. Peckham dice: El azufre contenido en el petróleo puede ser debido á dos diferentes causas: cuando se encuentra en muy pequeña cantidad, una fracción por ciento, puede decirse que ese azufre formaba parte constitutiva de la materia de que se formó el petróleo; pero cuando el azufre contenido alcanza varias unidades por ciento, es porque ha sido producido por reacciones químicas, entre el petróleo y los sulfatos contenidos en las aguas naturales.[4]

El procedimiento según el cual se sulfura el petróleo en el subsuelo puede explicarse como sigue. Al descomponerse las substancias azoadas animales producen ácido carbónico por la unión del oxígeno de la substancia con el carbón; y el hidrógeno se combina con el ázoe, el azufre y el fósforo, contenidos en las mismas substancias y se forma amoníaco y pequeñas cantidades de hidrógeno sulfurado y fosforado.[5] Por otra parte, el hidrógeno sulfurado se forma también, como dije antes, por la acción reductora de los carburos de hidrógeno sobre los sulfatos de cal ó de magnesia conteni-

1 Fuchs et De Launay. Loc. cit. pág. 124.

2 H. Coquand. Sur les gîtes de pétrole de la Valachie et de la Moldavie. et sur l'âge des terrains qui les contienent. Bull. Soc. Géol. de France. 2ª Serie. Tomo XXIV. 1866-67, pág. 509.—Véase también T. Sterry Hunt. Loc. cit. pág. 152.

3 Fuchs et De Launay. Loc. cit. pag. 150.

4 Prof. Peckham. Discussion. Proc. of the Am. Phil. Soc. Tomo XXXVI. 1897. pág. 138. Véase también: S. E. Peckham. Oh the nature and origin of petroleum. Proc. Am. Phil. Soc. Tomo XXXVII. 1897 pág. 109.

5 A. S. Cooper. The genesis of petroleum and asphaltum in California. California State Mining Bureau. Boletín 16. 1899. pág. 7. Véase también: W. L. Watts. The gas and petroleum yielding formations of the Central Valley of California. California State Mining Bureau. Boletín 3. 1894, pág. 35.

dos en el agua del mar.[1] El hidrógeno sulfurado que resulta de las reacciones químicas anteriores ataca al petróleo, lo resinifica y lo sulfura, sobre todo cuando este ataque se verifica en las cercanías de la superficie del terreno, ó sea en la zona de oxidación, en la cual como he dicho se oxida el hidrógeno sulfurado con precipitación de azufre.[2] Cuando es pequeña la cantidad de este metaloide contenido en el petróleo, podrá decirse: que ese azufre se encontraba en la substancia azoada animal que originó la formación del petróleo; que al descomponerse esa substancia, el azufre se transformó en hidrógeno sulfurado como dije antes; y que este compuesto sulfuró al petróleo. En cambio, si la proporción de azufre contenida en el petróleo excede de uno por ciento, puede decirse: que ese azufre proviene de substancias extrañas á la formación del petróleo;[3] y que es debido á la reducción de sulfatos alcalino-terrosos, por la acción de carburos de hidrógeno previamente formados.

El azufre contenido en el petróleo se encuentra en combinación química;[4] y han podido ser separados é identificados los siguientes sulfuros: methyl, normalpropyl, iso y normal butyl, pentyl, etylpentyl y hexyl, sulfuros contenidos en el petróleo crudo de Ohio.[5]

El petróleo de Beaumont,[6] así como el chapopote que se halla en las regiones ya descritas de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, contienen gran cantidad de azufre en combinaciones orgánicas, y también hidrógeno sulfurado. Según varios químicos la cantidad de azufre contenida en los petróleos de Beaumont, después de expulsar el hidrógeno sulfurado con una corriente de aire ó vapor, varía entre el 1.75 y el 2.4 por ciento, siendo 2.04 por ciento el contenido en el petróleo del «pozo Lucas.»[7] El chapopote de las regiones descritas en este estudio contiene cantidades de azufre variables entre el 1.48 y el 5.31 por ciento; y por lo tanto, según la respetable opinión del Prof. Peckham ya indicada, y la no menos autorizada del Dr. A. S. Cooper,[8] puedo decir que: la mayor parte del azufre contenido en los chapopotes de la costa del Golfo en México, y en el petróleo de Beaumont, es debida á la reducción del sulfato de cal; y no puede considerarse ese azufre como un producto accesorio de la formación de los referidos carburos de hidrógeno.

Al sulfurarse el petróleo no sólo varía su composición química, sino que

1 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 24.
2 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 56.
3 A. S. Cooper. The genesis of petroleum and asphaltum in California. California State Mining Bureau. Boletín 16. 1899. pág. 10.
4 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 56.
5 Charles F. Mabery. On the composition of certain petroleum oils, and of refining residues. Proc. Am. Academy of Arts and Sciences. Tomo XXV. 1890. pág. 218.
6 Robert T. Hill. Loc. cit. pág. 393.
7 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit. págs. 149-150 y U. S. Geol. Surv. Serie A. Economic Geology. Boletín 213. 1903. pág. 351.
8 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 10.

varían también sus propiedades físicas. En efecto, haciendo obrar el hidrógeno sulfurado, el oxígeno, el ácido azótico, ó los azotatos de potasa y sosa, sobre el petróleo [1] se obtiene el chapopote, ó sea, un hidrocarburo que contiene azufre, oxígeno ó ázoe, y á veces todos estos elementos.[2] En los chapopotes se ha encontrado ó una gran cantidad de oxígeno ó una gran proporción de azufre,[3] y el exceso de estos elementos ocasiona que: el petróleo pierda su fluidez, hasta llegar á endurecerse;[4] y que aumente de una manera notable su peso específico.[5]

La resinificación del petróleo y su transformación en chapopote es debida principalmente á la diminución en el petróleo de la «petrolena,» que es el disolvente natural de la «asfaltena.»[6] Ahora bien, la «petrolena,» puede desaparecer del petróleo crudo: por evaporación;[7] por oxidación;[8] por la acción del agua que contenga oxígeno ó aire atmosférico;[9] ó bien, al sulfurarse el petróleo por la acción del hidrógeno sulfurado ó del azufre. Según esto, cuando el petróleo se encuentre sometido á alguna de las acciones anteriores desaparecerán de él los aceites ligeros,[10] y se transformará en un chapopote más ó menos viscoso, y á veces enteramente duro.[11]

Resumen.

En vista de las razones expuestas en esta parte de mi estudio, creo fundadas las siguientes conclusiones: El yeso no interviene en la formación del petróleo. La mayor parte del azufre contenido en los petróleos de Beaumont y en los chapopotes de la costa del Golfo en México, no es un producto accesorio de la formación de esos hidrocarburos, sino que es debido á la reducción del sulfato de cal por los mismos hidrocarburos. La presencia de las incrustaciones de azufre en la superficie del terreno, los manantiales de agua sulfurosa y los desprendimientos de hidrógeno sulfurado,

1 A. S. Cooper. Loc. cit. págs. 8 y 15.
2 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 15.
3 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 17. Véase también: Richardson. Nature and origin of asphaltum.
4 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 40.
5 Charles F. Mabery. On the composition of american petroleum. Proc. Am. Phil. Soc. Tomo XXXVI. 1897. pág. 130.
6 Stanislas Méunier. Etude stratigraphique et chimique sur les gisements asphaltiques du Jura. Mémoires de la Soc. Belg. de Géol. Paléont. et d'Hydrol. Tomo XII. 1898. pág. 88.
7 S. Meunier. Loc. cit. pág. 88. Véase también H. Coquand. Sur les gisements asphaltiques des environs de Raguza, dans la province de Val di Noto (Sicile). Bull. Soc. Géol. de France. 2ª Serie. Tomo XXV. 1867-68. pág. 429. Véase también S. F. Peckham. On the nature and origin of petroleum. Proc. Am. Phil. Soc. Tomo XXXVI. 1897. pág. 110.
8 Boussingault. Annales de Chimie et de Physique. 1ª Serie. Tomo LXIV. 1837. pág. 148.
9 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 56.
10 A. Jaccard. Loc. cit. pág. 247. Véase también Dr. J. P. Kimball. Am. Jour. of Science. 3ª Serie. Tomo XII. 1876. pág. 285.
11 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 40.

no siempre indican la presencia del petróleo en el subsuelo. La ausencia de estas manifestaciones superficiales no prueba la ausencia del petróleo en la profundidad. La presencia de las referidas manifestaciones superficiales, cuando no son debidas á acciones sulfatarianas, sólo indican la presencia del yeso y de carburos de hidrógeno en el subsuelo; pero sin que pueda apreciarse por ellas: ni la naturaleza del hidrocarburo; ni, en su caso, el valor comercial de los receptáculos petrolíferos subterráneos; ni mucho menos permitirán fijar la posición de estos receptáculos. Por último, la presencia de esas manifestaciones superficiales en terrenos petrolíferos, indican que el petróleo del subsuelo, sobre todo en la zona de oxidación ó superficial: está sulfurado y en parte resinificado; es pesado, más ó menos viscoso, de base asfáltica, y relativamente escaso en aceites iluminantes.

DISTRIBUCION PROBABLE DEL PETROLEO EN EL SUBSUELO.

Hasta la profundidad alcanzada por los diversos pozos que he mencionado en los Capítulos anteriores, puede decirse que: los receptáculos petrolíferos subterráneos de la costa del Golfo de México, no parecen ser primitivos sino secundarios; es decir, que el petróleo no se formó en las capas ya cortadas, sino que se acumuló en ellas después de haber caminado errante y por grietas, desde los receptáculos primitivos hasta encontrar estratos ó lugares apropiados para su acumulación.[1] En apoyo de esta idea se encuentran los hechos que paso á mencionar.

Cuando el petróleo se forma en una capa arcillosa, la arcilla intercepta toda comunicación entre el petróleo líquido, que aprisiona, y las aguas aireadas ó sulfurosas; y por lo mismo, evita de una manera más ó menos completa las reacciones químicas relativas que mencioné en el Capítulo anterior, y el petróleo queda fluido.[2] En cambio, al salir el petróleo de su receptáculo primitivo, para caminar errante por grietas hasta encontrar un lugar favorable á su acumulación, se encuentra en íntimo contacto con las aguas sulfurosas que á veces lo acompañan en su circulación ascendente,[3] ó con el aire contenido en esas grietas; y al sulfurarse ú oxidarse por estos motivos, pierde mayor ó menor cantidad de hidrocarburos ligeros, y se transforma en un chapopote duro ó viscoso. Por esta razón dice Jaccard que: la formación de un depósito secundario de petróleo, casi siempre está acompañada de una transformación de la substancia que emigra.[4] En todas las perforaciones que se han hecho en las regiones petrolíferas antes descritas, se ha encontrado solamente chapopote fluido ó viscoso, y á veces duro como en Tantoyuca, en Papantla y en el Istmo de Tehuantepec. Este hecho indica, en vista de los motivos antes expuestos, que los receptáculos petrolíferos subterráneos que se han cortado hasta ahora en las re-

1 W. L. Watts. Loc. cit. pág. 59.

2 H. Coquand. Sur les gisements asphaltiques des environs de Raguza dans la province du Val di Noto (Sicile). Bull. Soc. Géol. de France. 2ª Serie. Tomo XXV. 1867-68. pág. 429.

3 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 72.

4 A. Jaccard. Loc. cit. pág. 247.

feridas regiones, son de origen secundario; pues esos receptáculos contienen chapopote, y esta substancia no se encuentra en las rocas en las cuales se opera la descomposición lenta de los restos orgánicos, vegetales ó animales,[1] que originan la formación del petróleo.

La cantidad de azufre contenida en los chapopotes de las regiones ya descritas, es muy superior á la que podría considerarse como existente en la substancia azoada animal que originó la formación del petróleo; y por lo tanto, ese exceso de azufre proviene de la causa extraña á la formación del petróleo, que indiqué en el Capítulo anterior. Ahora bien, si los receptáculos petrolíferos ya cortados fueran primitivos, esa causa extraña no habría obrado con igual intensidad en todo el petróleo contenido en ellos, y el azufre no se encontraría en la misma proporción en todo el petróleo que proviniera de un mismo receptáculo subterráneo; porque al solidificarse el chapopote en toda la superficie del receptáculo primitivo se forma una cubierta que impide[2] la evaporación, la oxidación y la sulfuración del petróleo contenido en el interior del referido receptáculo. Pero esto no sucede en las regiones petrolíferas antes descritas, pues es constante la cantidad de azufre contenida en el chapopote que proviene de un mismo receptáculo. Por lo tanto, parece fundado decir que:[3] el petróleo fué sulfurado antes de penetrar en los receptáculos ya cortados por las perforaciones; y que estos últimos son de origen secundario.

Por último, en vista de los datos proporcionados por las perforaciones, no puede decirse que una capa determinada sea la petrolífera; y si no puede definirse la posición de esta capa, no pueden considerarse como primitivos los receptáculos petrolíferos cortados por las referidas perforaciones.[4]

* * *

Como los receptáculos petrolíferos subterráneos ya cortados por las perforaciones hechas en México, pueden considerarse como secundarios, el chapopote se encontrará en el subsuelo: ó en las grietas por donde se verifica ó se ha verificado la circulación ascendente del chapopote; ó en las capas permeables que haya encontrado en esta circulación.[5] Me ocuparé primero en estudiar las capas permeables que existen en las regiones petrolíferas ya descritas, con objeto de ver si se encuentran en condiciones favorables para permitir una gran acumulación de chapopote; y después me ocuparé

1 S. Meunier. Etude stratigraphique et chimique sur les gisements asphaltiques du Jura. Mémoires. Soc. Belg. Géol. Paléontol. et d'Hydrol. Tomo XII. 1898. pág. 85.
2 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 49.
3 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 10.
4 W. L. Watts. Loc. cit. pág. 59.
5 E. Fuchs et L. De Launay. Loc. cit. pág. 146.

en estudiar las grietas por las cuales haya circulado el referido hidrocarburo.

Las condiciones esenciales para la acumulación del petróleo en depósitos secundarios son: un abastecimiento suficiente que provenga de los depósitos primitivos; una roca porosa en la cual pueda almacenarse, y que le sirva de receptáculo; y una capa impermeable que cubra á la porosa, é impida el escape de los hidrocarburos acumulados.[1] El plegamiento de las capas formando anticlinales, siempre que no sea exagerada la inclinación de estas capas, favorece la formación de receptáculos petrolíferos secundarios de valor comercial.[2]

La bondad de los receptáculos pretrolíferos secundarios depende principalmente: de la abundancia en el abastecimiento de chapopote; de la facilidad con la cual pueda circular este último por las grietas de las capas impermeables en pequeño hasta llegar á las rocas permeables; y de la porosidad y extensión de estas últimas.[3]

En las regiones petrolíferas que he descrito anteriormente existe como zona impermeable superficial, la que está formada por arcillas y margas muchas veces no apizarradas, zona que es bastante gruesa como lo han demostrado las perforaciones hechas: en el Ebano, en Tanute, en Cerro Viejo, en Cubas, en Sabaneta, en Jáltipan, en Chapo y en San Cristóbal. En esta zona por naturaleza impermeable, el chapopote ha podido circular solamente por las grietas poco importantes que cortan á las margas y á veces también á las arcillas, grietas angostas é irregulares que en algunas partes llegan hasta la superficie del terreno, y permiten el derrame del chapopote por los pequeños manantiales mencionados ya con el nombre de chapopoteras.

Las margas y arcillas se encuentran saturadas de agua en algunas partes de las regiones petrolíferas ya descritas, y sobre todo en la del Istmo de Tehuantepec; y por lo tanto, la circulación del chapopote por las grietas de estas rocas saturadas de agua es muy lenta. Además, como la mayor parte del chapopote de las regiones antes mencionadas es más ó menos viscoso, su circulación por las grietas y poros de las rocas es bastante lenta ó imposible, sobre todo si las rocas están húmedas.[4]

Algunas de las perforaciones hechas en Sabaneta, en Jáltipan y en Chapo, han encontrado chapopote duro; y éste, al obstruir las grietas que cortan á las rocas mencionadas, impide la circulación ascendente del chapopote viscoso ó fluido. Esta circulación no puede ser activada por la del agua,[5] porque la de esta última es muy pequeña ó totalmente nula en la

1 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit. pág. 140.—W. J. Mc Gee. Loc. cit. pág. 604.

2 I. C. White. Petroleum and natural gas. West Virginia Geol. Surv. Tomo I. 1899. pág. 372.

3 S. Meunier. Loc. cit. pág. 87.

4 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 42.

5 Louis Lartet. Sur les gîtes bitumineux de la Judée et de la Cœlé-Syrie, et sur le mode d'arrivée de l'asphalte au milieu des eaux de la mer Morte. Bull. Soc. Géol. de France. 2ª Serie. Tomo XXIV. 1866-67. pág. 30.—Robert T. Hill. Loc. cit. págs. 397 y 398.

mayor parte de las regiones petrolíferas antes mencionadas, según lo han demostrado las perforaciones hechas en el Istmo de Tehuantepec y en el Ebano.

En vista de lo anterior puede decirse que: en las regiones petrolíferas que he estudiado existen capas de naturaleza impermeable, por no ser porosas, y cuya «permeabilidad en grande,»[1] debida á las grietas que las cortan, es para el chapopote muy pequeña ó casi nula en muchos lugares. Estas rocas se hallan en las regiones estudiadas desde la superficie del terreno hasta la profundidad alcanzada por las perforaciones; pero intercaladas en ellas se encuentran lentes y estratos permeables, formados por arena suelta y areniscas, estratos que debo estudiar con algún detalle, pues de su porosidad y extensión depende la riqueza de los receptáculos petrolíferos subterráneos que se encuentren en esas regiones.

La porosidad de una arenisca depende de la forma de los granos, de la uniformidad en el tamaño de estos últimos, y de la cantidad de material que les sirve de cemento.[2] Ahora bien, en Sabaneta, en el Ebano, en Chapo y en Jáltipan, han cortado las perforaciones capas de areniscas calcáreas y de areniscas silizosas, rocas que afloran principalmente en las cercanías de Sayula en el Istmo de Tehuantepec. La presencia de este cemento calizo ó silizoso, debido á la circulación de aguas que depositaron estos compuestos al pasar por capas de arena, disminuye ó nulifica la porosidad de estas capas.[3] Además, las areniscas de las regiones mencionadas son de grano fino, y esto ocasiona una circulación lenta y difícil para los líquidos,[4] razón por la cual la porosidad de estas capas sólo es de ocho á diez por ciento.[5] Según lo anterior puede decirse que: la porosidad de las areniscas en las regiones petrolíferas mencionadas antes es en lo general pequeña, y varía en una misma capa con la cantidad de cemento calizo ó silizoso, y con la mayor ó menor finura del grano, lo cual hace que tengan una forma irregular los tramos más permeables de las referidas areniscas.

Por los datos que han proporcionado la mayor parte de las perforaciones hechas en el Ebano, en Sabaneta, y en el Istmo de Tehuantepec, puede decirse que: son poco gruesas relativamente las capas de arena suelta y de areniscas; y que en estas capas se ha acumulado el chapopote formando lentes aplastadas de dimensiones variables. En efecto, perforaciones muy cercanas, tanto en el Ebano, como en Cubas y en Jáltipan, no han cortado las mismas capas de arena, ó las han cortado con espesores diferentes, lo cual indica la forma en lentes de estas capas,[6] forma que está comproba-

1 Daubrée. Les eaux souterraines à l'époque actuelle. 1887. Tomo I. pág. 17.

2 C. W. Halles and William Kennedy. Loc. cit. pág. 141.

3 W. F. Griswold. The Berea grit oils and in the Cadiz Quadrangle Ohio. Bull. U. S. Geol. Surv. Serie A. Economic Geology. 1902. N. 198. pág. 14.

4 W. F. Griswold. Loc. cit. pág. 14.

5 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit. pág. 141.

6 Edward Orton. Loc. cit. pág. 511.

da también por los siguientes hechos. En los primeros pozos abiertos en el Ebano, así como en el «Pozo 2» de Jáltipan, se hizo uso de bombas para extraer el chapopote; y, sin embargo de esto, no aumentó de una manera notable la producción del referido hidrocarburo, lo cual según M. L. Fuller, indica la forma en lentes de los receptáculos petrolíferos subterráneos.[1] Además, en San Cristóbal del Istmo de Tehuantepec, en Cubas de Papantla, y en otros lugares, se observa lo siguiente: Un pozo abierto cerca de una chapopotera encuentra chapopote fluido brotante á determinada profundidad; y teniendo en cuenta la inclinación de las capas en las cercanías del pozo referido, se ha podido calcular la profundidad á la cual será cortada la misma capa, que en ese pozo contiene el chapopote, por otro pozo distante del primero cierto número de metros medidos en una línea normal al rumbo de las capas y en la dirección del echado de estas últimas. Conocida ya teóricamente la profundidad á la cual debe ser cortada la capa petrolífera se han abierto los nuevos pozos; y estos muchas veces no han encontrado al chapopote ni á una profundidad muchísimo mayor de la calculada. Esto prueba que no hay capas petrolíferas en esas regiones, sino que el chapopote se halla concentrado en receptáculos subterráneos de forma lenticular; y por lo tanto, sólo las perforaciones que corten á una de estas lentes, ó á una grieta directamente comunicada con ellas, producirán chapopote.

La mayor parte de las lentes cortadas por las perforaciones hechas hasta ahora puede decirse que son pequeñas relativamente; porque pozos muy cercanos entre sí no cortan á una misma lente, y muchas perforaciones han producido cantidades muy pequeñas de chapopote, y durante poco tiempo. En las cercanías del cerro de la Pez, en el Ebano; en las inmediaciones de Cubas, en Papantla; y en San Cristóbal en el Istmo de Tehuantepec, son los lugares en donde se han encontrado lentes de mayores dimensiones relativas, sobre todo en Cubas y en el Ebano. Más tarde, cuando se explore la región petrolífera de Tuxpan, es problable que se corten lentes de importancia industrial semejante á la que han tenido las de Cubas y el Ebano.

Como se comprende por la descripción que he hecho de las regiones petrolíferas de los Estados de San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, las manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo se encuentran diseminadas en una gran extensión de terreno; y por lo tanto, puede decirse también que: las lentes petrolíferas subterráneas de esas regiones se encuentran muy diseminadas.

De todo lo anterior se deduce que: en las regiones petrolíferas ya mencionadas se encuentran satisfechas las condiciones indispensables para la acumulación del chapopote en depósitos secundarios, pues existe la indis-

1 Myron L. Fuller. The Gaines Oil field of Northern Pennsylvania. Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1900–01. Parte III. pág. 604.

pensable[1] zona impermeable que cubre á las capas permeables; pero debe tenerse en cuenta para los fines comerciales, que estas últimas capas son por lo general poco porosas en esas regiones, que los receptáculos petrolíferos subterráneos tienen la forma de lentes de dimensiones relativamente pequeñas en la mayoría de los casos, y que estas lentes están diseminadas en una gran extensión de terreno.

Como dije antes, la estructura anticlinal favorece la formación de receptáculos petrolíferos de valor comercial.[2] Esta teoría fué sostenida primero, en 1861, por T. Sterry-Hunt,[3] y más tarde por I. C. White;[4] ha sido comprobada en multitud de localidades,[5] es ahora generalmente aceptada,[6] y puede decirse con G. H. Eldridge que: las zonas productivas se han encontrado en conexión con anticlinales, ya sea en la proximidad de sus ejes, ó bien á lo largo de sus flancos, ó en las cercanías de la base de los referidos anticlinales.[7]

Cuando el petróleo se encuentra junto con el agua, en una capa porosa, tiende á subir hacia la superficie del terreno, separándose del agua por ser el petróleo de menor densidad. Este movimiento ascendente continúa hasta encontrar una capa impermeable: si esta capa es horizontal, el petróleo no se acumula en gran cantidad;[8] pero si es inclinada, el movimiento ascencional continúa bajo esa capa hasta llegar á la cresta del pliegue en la cual se verifica la acumulación, y se forman receptáculos en las cercanías del eje del anticlinal. El gas, el petróleo y el agua, se separan por orden de densidades, y se encontrarán los dos primeros en los anticlinales, y la segunda en las cercanías de los sinclinales.

Para que la acumulación del petróleo se verifique según la teoría del anticlinal, de la manera antes indicada, es preciso que la capa permeable sea regular en grueso y carácter, uniformemente porosa y homogénea, hasta llegar á la cresta del anticlinal;[9] pues sólo así podrá subir el petróleo hasta la referida cresta y formar allí receptáculos largos y angostos. Pero si la roca permeable afecta la forma de lentes aisladas y diseminadas en los flancos de un anticlinal, el movimiento ascendente del petróleo, y la sepa-

1 Edward Orton. Loc. cit. pág. 512.—C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 141.

2 A. S. Cooper. Loc. cit., pág. 19.

3 T. Sterry-Hunt. Sur les pétroles de l'Amérique du Nord. Véase también Louis Lartet. Loc. cit., pág. 572.

4 I. C. White. Loc. cit. 372.

5 Véase S. Meunier. Mém. Soc. Belg. Géol. Paléont. d'Hydrol. Tomo XII. 1898. pág. 94.—W. L. Watts. Loc. cit., págs. 5, 19, 27 y 59.—E. Fuchs et L. De Launay. Loc. cit., pág. 123.—Edward Orton. Loc. cit., pág. 515.—George H. Eldridge. The Asphalt and bituminous rock deposits of the United States. 22th. Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. 1900-01. Parte I. pág. 219.—C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 144.

6 W. F. Griswold. Loc. cit., pág. 11.

7. G. H. Eldridge. The Petroleum fields of California. U. S. Geol. Surv. Serie A. Economic Geology. 1902. Boletín 213., pág. 321.

8 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 142.

9 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 143.

ración por densidades del gas, petróleo y agua, se verificará sólo dentro de la lente.[1]

En el Istmo de Tehuantepec la estructura anticlinal no ha favorecido probablemente la formación de grandes receptáculos de petróleo, tanto por no ser uniformes y homogéneas las capas porosas, sino en forma de lentes, como por el motivo que paso á mencionar.

El anticlinal San Cristóbal se levanta con muy poca pendiente al Sur de Coatzacoalcos y al Norte de Santa Lucrecia, y solamente en las cercanías del eje las capas tienen una inclinación de 30 á 50°. La poca pendiente de las capas en los flancos de este anticlinal no es suficiente[2] para que el chapopote pueda vencer los obstáculos debidos á la irregularidad de carácter de las capas permeables, á su desigual espesor y porosidad, y pueda elevarse hasta la cresta del anticlinal. Por lo tanto, esa poca pendiente no favorece la acumulación de grandes cantidads de petróleo, conclusión ésta enteramente de acuerdo con la opinión de W. F. Griswold, quien dice: en los lugares donde los estratos tienen una pendiente uniforme en una gran extensión de terreno, es probable que no haya acumulaciones de petróleo de valor comercial.[3]

Como se ve, la porosidad de las capas es una condición esencial para la acumulación del petróleo, como lo es para la de la agua;[4] pero también las condiciones de estructura general del terreno intervienen notablemente en esta acumulación.[5]

En todas las regiones petrolíferas ya descritas en los Capítulos anteriores, la estructura general del terreno es monoclinal; es decir, las capas, aunque ligeramente onduladas formando pliegues sumamente abiertos y de muy pequeña altura, tienen una pendiente casi uniforme y siempre hacia el Este. La inclinación de estas capas es muy pequeña en todas las regiones petrolíferas mencionadas, como se ve por los datos que he indicado en sus correspondientes lugares; y esta corta y casi uniforme pendiente de las capas, es probable que no haya facilitado el movimiento ascensional del chapopote por los planos de estratificación de las referidas capas. Según esto, no solamente en Tehuantepec, sino que en todas las regiones petrolíferas de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, el chapopote se encuentra en el subsuelo acumulado en lentes relativamente pequeñas y muy diseminadas en una gran extensión de terreno.

Las condiciones de los estratos, y la estructura general del terreno en las regiones petrolíferas descritas en este estudio, son muy distintas á las

1 A. M. Chance. The anticlinal theory of natural gas. Trans. Am. Inst. Min. Eng. Tomo XV. 1887. Pág. 9. Véase también W. F. Griswold. Loc. cit., pág. 14.

2 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 143.

3 W. F. Griswold. Loc. cit., pág. 16.

4 Edward Orton. Loc. cit., pág. 604.

5 W. L. Watts. Loc. cit., pág. 19.—Arthur John Phinney. The natural gas field of Indiana 11th Ann. Rept. U. S. Geol. Surv. 1889–90. Parte I, pág. 654.

que se encuentran en Beaumont (Texas); aunque en este lugar existen manifestaciones sulfurosas superficiales semejantes á las que se encuentran en el Istmo de Tehuantepec, y en la región de Tuxpan.

En Spindle Top (Beaumont) la roca permeable petrolífera es una dolomita sumamente porosa[1] y muy permeable, tanto por el carácter cristalino de la roca,[2] como por existir en ella pequeñas cavidades formadas por la acción disolvente de las aguas.[3] Esta gran permeabilidad permite la circulación fácil del petróleo, su acumulación en grandes cantidades, y también su fácil salida al exterior cuando una perforación corta á la capa de dolomita.[4]

La zona impermeable en esta región es bastante gruesa, y está constituída por una serie de capas de arcilla y calizas intercaladas, hasta llegar á la capa de caliza más profunda llamada «cap-rock.»[5] La estructura del terreno petrolífero en Spindle Top es anticlinal[6] con flancos bastante inclinados y el copete casi plano, anticlinal que coincide con una eminencia en la superficie del terreno, llamada Spindletop-Hill, aunque es mayor la inclinación de los flancos del anticlinal que la pendiente de los flancos de este cerro.[7] Las aguas termales se han encontrado en esta región abajo del aceite, y éste sale caliente del Pozo Lucas.[8] El receptáculo petrolífero se encuentra á una profundidad de 320 metros,[9] y ocupa una superficie de 823 por 915 metros.[10]

Comparando los datos anteriores con los relativos á las regiones petrolíferas descritas en este estudio, se obtienen las siguientes conclusiones. La capa petrolífera de Beaumont es excesivamente permeable, y en las regiones petrolíferas de que me he ocupado no existen capas permeables continuas, sino lentes de areniscas poco permeables y diseminadas en una gran extensión de terreno. La porosidad de la dolomita de Beaumont es de más de 25 por ciento[11] y la de las areniscas de las regiones estudiadas es sólo de 8 á 10 por ciento. La circulación del petróleo en la dolomita de Beaumont es muy fácil, y es difícil en las areniscas calcáreas y silizosas de las regiones de que me ocupo. La dolomita de Beaumont cede fácil y rápidamente el petróleo que contiene, y las areniscas mencionadas lo ceden con dificul-

1 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 70.

2 Edward Orton. Loc. cit., pág. 584.

3 Charles A. Ashburner. Petroleum and natural gas in the New York State. Trans. Am. Inst. Min. Eng. Tomo XVII. 1888. Pág. 914.—C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 70.

4 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., págs. 71 y 141.

5 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 142.

6 Robert T. Hill. The Beaumont Oil Field, with notes on other oil fields of the Texas region. Trans. Am. Inst. Min. Eng. 1903. Tomo XXXIII, pág. 392.

7 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 72.

8 Robert T. Hill. Loc. cit., págs. 392 y 395.

9 G. I. Adams. Loc. cit., pág. 48.

10 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc.cit., pág. 69.

11 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 141.

tad y lentitud cuando son cortadas por una perforación.[1] La estructura de la roca permeable en Beaumont es muy favorable á la acumulación del petróleo en grandes receptáculos subterráneos, pues los flancos del anticlinal tienen bastante pendiente, y esto facilita el movimiento ascensional del petróleo contenido en esa parte de las capas y su llegada hasta la cresta del anticlinal, la cual por ser casi plana, permite la formación de receptáculos petrolíferos subterráneos bastante extensos en el sentido horizontal. En cambio, en las regiones que he estudiado, la estructura del terreno no es favorable; porque la inclinación de las capas es muy pequeña, y esto no facilita el movimiento ascensional del chapopote por los planos de estratificación de las referidas capas, sino que ese hidrocarburo permanece muy diseminado en una gran extensión de terreno. En el Istmo de Tehuantepec el anticlinal tiene una forma enteramente contraria á la del anticlinal de Beaumont; pues en el de Tehuantepec los flancos tienen muy poca pendiente, y en la cresta las capas están bastante inclinadas; y en Beaumont los flancos están muy levantados y en la cresta las capas están casi horizontales. Por lo tanto, los receptáculos petrolíferos subterráneos de Tehuantepec se encontrarán diseminados en la gran extensión de terreno ocupada por los flancos del anticlinal San Cristóbal; pero en la cresta de este anticlinal no se encontrarán grandes acumulaciones de chapopote, porque en esta cresta la mucha inclinación de las capas facilita la emigración de los hidrocarburos hasta la superficie del terreno y su salida al exterior, sobre todo en el caso de que me ocupo, en que el anticlinal está descopetado por erosión. Según esto, es fundado decir que: desde el punto de vista comercial, no son comparables los receptáculos petrolíferos subterráneos del Istmo de Tehuantepec y los de Beaumont en Texas.

Indicadas ya las condiciones en que se encuentran las capas permeables en las regiones petrolíferas descritas en este estudio, condiciones que, en vista de las razones expuestas, pueden considerarse como poco favorables para permitir grandes acumulaciones de chapopote en el subsuelo, paso á ocuparme de las grietas por las cuales circula el chapopote en el subsuelo de las regiones petrolíferas de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz.

La circulación subterránea del petróleo ha sido poco estudiada, pero se sabe sin embargo que difiere de la del agua.[2] Además, dice A. S. Cooper que: cuando una roca está saturada de agua es casi imposible que el petróleo desaloje á esa agua y penetre en la roca, y menos aún si ésta es de grano fino.[3] En cambio, el petróleo, por la presión hidrostática, la de la roca y la de los gases, tiende á emigrar para acumularse en cualquier espacio vacío,[4] y sólo el chapopote endurecido conserva su posición.[5]

1 C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit., pág. 141.
2 Robert T. Hill. Loc. cit. pág. 365.
3 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 46.
4 A. S. Cooper. Loc. cit. págs. 42 y 47.
5 A. S. Cooper. Loc. cit. pág. 47.

Según la teoría indicada primero por L. Lartet[1] en 1866 y propuesta recientemente por R. T. Hill[2] en 1903, las aguas termales en su circulación ascendente por grietas ó fracturas sirven de vehículo al petróleo que encuentran diseminado en su trayecto, al cual elevan hasta la superficie del terreno, ó por lo menos, hasta las capas porosas apropiadas para su acumulación.

La circulación subterránea de aguas termales en las regiones petrolíferas que he descrito es insignificante ó nula, en la mayor parte de ellas, según lo han demostrado las perforaciones; y por lo tanto, no puede considerarse á estas aguas como vehículo del petróleo, en su circulación ascendente por las grietas de las rocas en todas esas regiones.

Además, el Terciario de la costa del Golfo de México, ha estado sometido á esfuerzos horizontales pequeños; y por lo tanto, el plegamiento y agrietamiento de las capas es también poco importante. Según esto puede decirse, que en las regiones mencionadas el chapopote generalmente emigra por grietas más bien capilares que supercapilares. Esto dificulta la circulación subterránea del chapopote, más aún cuando es viscosa esta substancia, razón por la cual no puede decirse que es muy abundante en las regiones descritas el abastecimiento de los receptáculos petrolíferos de origen secundario, abastecimiento que se verifica al emigrar el chapopote por grietas generalmente angostas, hasta encontrar zonas porosas apropiadas para su acumulación.

El chapopote al emigrar por grietas hacia la superficie del terreno, impulsado principalmente por la presión de la roca y por la de los gases que siempre lo acompañan, tiende á llenar todos los espacios vacíos que encuentre en su trayecto. De esta manera puede pasar el chapopote de las grietas á los tramos porosos de las rocas cortados por las referidas grietas; y en este caso, al llenar los espacios vacíos de las rocas porosas, constituye allí un receptáculo de origen secundario. Puede también pasar el chapopote de las grietas para alguno de los planos de estratificación de las rocas cortadas, y entonces continúa su trayecto lateral-ascendente por los espacios vacíos irregulares que existen entre las caras de separación de los referidos estratos. Después de seguir este camino, más bien lateral que ascendente, puede encontrar otras grietas, y entonces continuará su ascenso por ellas, para llegar á otros tramos porosos de las rocas cortadas, á otros planos de estratificación, ó hasta la superficie del terreno.

En varias de las regiones petrolíferas descritas en este estudio existen, como he dicho, rocas ígneas en parte intrusivas. Estas partes intrusivas al cortar á las rocas sedimentarias establecen una comunicación entre las capas inferiores y las superiores, por la solución de continuidad que existe

1 Louis Lartet Loc. cit. pág. 30.

2 Robert T. Hill. Loc. cit. págs. 397 y 398.—C. W. Hayes and William Kennedy. Loc. cit. pág. 143.

en el contacto de los estratos sedimentarios con las rocas ígneas mencionadas. Al llegar á estas últimas, el chapopote que circule en las grietas interceptadas por las intrusiones, tendrá que continuar su ascenso por la zona de contacto entre las rocas ígneas y sedimentarias. Igual trayecto seguirá el chapopote que emigra por los espacios vacíos de los planos de estratificación cortados por la parte intrusiva de las rocas ígneas. Según esto, esas partes intrusivas de las rocas mencionadas, son una especie de barreras impermeables subterráneas que impiden pase el chapopote de uno á otro lado de las rocas cortadas, y lo obligan á seguir su camino por las zonas de contacto entre las rocas ígneas y sedimentarias. En los lugares en que las partes intrusivas de las rocas ígneas son más bien verticales que horizontales, el chapopote asciende por las zonas de contacto ya mencionadas; y en los lugares en que esas partes intrusivas son más bien horizontales que verticales, el chapopote se acumula debajo de esa barrera impermeable, constituyendo allí un receptáculo de origen secundario, ó circula horizontalmente debajo de la roca intrusiva hasta que encuentra una grieta ó espacio vacío que le permita continuar por allí su circulación ascendente.

Las partes intrusivas de las rocas ígneas al cortar á las sedimentarias permiten que el chapopote contenido en receptáculos secundarios, diseminados á distintas profundidades, emigre por la zona de contacto entre las rocas mencionadas, y se acumule arriba formando nuevos receptáculos. Estos últimos se encuentran en las zonas porosas de las rocas superiores cortadas por las partes intrusivas de las rocas ígneas, ó debajo de los tramos casi horizontales de estas intrusiones, ó bien en los lugares más agrietados de las referidas zonas de contacto.

Siguiendo el chapopote los trayectos ya indicados, en su emigración hacia la superficie del terreno, se acumula constituyendo receptáculos petrolíferos subterráneos de origen secundario, y de formas diversas, según es el lugar en que se verifica la acumulación.

Cuando el chapopote se acumula en los tramos porosos de las rocas sedimentarias, tramos que pueden estar situados en las cercanías de las grietas que los cortan, ó en las zonas de contacto de las rocas intrusivas y de las sedimentarias, ó debajo de los tramos casi horizontales de las rocas intrusivas, la forma de los receptáculos subterráneos es en lentes más ó menos irregulares, de extensión muy variable, y de grueso también muy diverso. Las dimensiones de estas lentes son las que tienen los tramos porosos de las rocas sedimentarias, arenas ó areniscas, tramos porosos aislados por lo general y muy irregulares. Esto explica por qué son tan irregulares las lentes petrolíferas, y por qué se hallan éstas muy diseminadas tanto en el sentido horizontal como á la profundidad.

La misma forma en lentes tienen los receptáculos secundarios debidos á la acumulación del chapopote en los espacios vacíos irregulares, comprendidos entre las caras de separación de los estratos. Estas intercalaciones entre los estratos son, por lo tanto, de dimensiones muy irregulares también.

Por último, tienen la forma de vetillas ó de venas, los receptáculos secundarios debidos á la acumulación del chapopote en las grietas ó en los espacios vacíos comprendidos en las grietas que cortan á las rocas, ó que se hallan en la zona de contacto entre las rocas sedimentarias y las partes intrusivas de las ígneas ya mencionadas.

Estas diferentes formas de receptáculos petrolíferos de origen secundario, explican los diferentes resultados alcanzados hasta ahora con las perforaciones, y explican las diferencias que se observarán en los nuevos pozos que se abran en las regiones petrolíferas que he descrito en los Capítulos anteriores. En efecto, unas perforaciones pueden cortar lentes de regulares dimensiones, en las que se haya acumulado durante mucho tiempo chapopote fluido, en los poros de una roca muy permeable, ó en algún espacio supercapilar comprendido entre las caras de separación de los estratos; entonces, el chapopote brotará al ser cortada la lente por la perforación, y continuará brotando en gran cantidad mientras exista en la lente cortada un exceso de gases y de chapopote acumulado. Después, la cantidad de chapopote que salga por el pozo en la unidad de tiempo, dependerá: de la cantidad que en igual tiempo llegue á la lente cortada por las grietas que la alimenten; de la permeabilidad de la roca; de la facilidad con que la roca pueda ceder el petróleo que contenga; y de la presión originada por la acumulación de gases en la misma lente. Al disminuir la presión de estos gases, disminuye también la cantidad de chapopote que brota por el pozo, y aun llega á suspenderse temporalmente la salida del chapopote entre tanto aumenta la presión de los gases, que juntos con esta substancia emigran de la profundidad para alimentar receptáculos de origen secundario. En este último caso, el pozo tiene un régimen geyseriano, como lo tuvieron los pozos núm. 17, del Ebano, y núm. 2, de Jáltipan.

Cuando la perforación no corta á una lente petrolífera sino á una grieta, el éxito de la perforación depende de la importancia de la grieta cortada. Si ésta se encuentra á poca distancia de alguna lente petrolífera importante, con la cual esté comunicada, ó si por ella se verifica una circulación activa de chapopote fluido, como sucede á veces en la zona de contacto entre las rocas sedimentarias y las ígneas en sus partes intrusivas, la producción del pozo será regular; porque entonces, encontrando el chapopote menor resistencia en su movimiento ascendente por la perforación, que siguiendo su trayecto natural por las grietas de las rocas, brota por el pozo en cantidad tanto mayor, cuanto más activa es la circulación del chapopote por la grieta cortada. En cambio, cuando la perforación corta á una grieta capilar, por la cual se verifica con dificultald y lentitud la circulación del chapopote, este último saldrá por el pozo en muy pequeña cantidad, aun haciendo uso de bombas para extraerlo. Tampoco producirá chapopote la perforación que sólo corte grietas llenas de grahamita, ó tramos de grietas ocupadas por este chapopote duro.

Otros pozos, aunque muy cercanos de aquellos que han alcanzado éxito

comercial, pueden pasar dentro de la red de grietas por donde circula el chapopote sin cortar á ninguna de ellas, y sin cortar tampoco á las lentes petrolíferas, que pueden estar muy cercanas. En este caso la perforación no producirá chapopote, y muchas veces ni aun haciendo uso de la dinamita; pues la explosión de ésta en el fondo del pozo no siempre establece la comunicación entre éste y las grietas y lentes petrolíferas cercanas.

Ejemplos de todos los casos anteriores se encuentran en las regiones que he descrito, y no obstante que la exploración de ellas se encuentra sólo en sus principios.

Al verificarse la emigración del petróleo de la profundidad hacia la superficie del terreno, por las grietas antes mencionadas, hasta acumularse constituyendo receptáculos petrolíferos secundarios en forma de lentes ó de vetillas, se oxida ó se sulfura al ponerse en contacto con el aire, ó con las aguas meteóricas oxidantes, ó con aguas sulfurosas. Entonces el petróleo se resinifica, y se vuelve viscoso y á veces duro. Si la resinificación tiene lugar en la superficie del terreno, por la evaporación, oxidación, ó sulfuración rápida del chapopote fluido, se forma entonces el chapopote duro que se encuentra alrededor de varias chapopoteras; pero cuando la resinificación se verifica en la profundidad, por una oxidación ó sulfuración lenta del chapopote, se forma entonces la grahamita, ó la albertita, ú otros hidrocarburos del mismo tipo.[1] Según esto, la grahamita puede encontrarse en cualquiera parte del trayecto que sigue el chapopote en su circulación subterránea, y en cualquiera de los lugares en donde esta substancia se acumula formando depósitos de origen secundario. Por lo tanto, la grahamita puede encontrarse: en vetillas, rellenando las grietas más ó menos irregulares por donde asciende el chapopote, circulación que se interrumpe al endurecerse esta substancia en las grietas mencionadas; en lentes intercaladas entre las caras de separación de las rocas sedimentarias, cuando se ha resinificado el chapopote que rellenaba á los espacios vacíos comprendidos en los planos de estratificación; ó bien en lentes comprendidas en las mismas capas sedimentarias, cuando se resinifica por completo el chapopote que ocupa los tramos porosos de estas rocas, tramos que entonces quedan llenos de grahamita. Como se ve, este hidrocarburo puede encontrarse en depósitos de formas iguales á las que tienen los receptáculos petrolíferos subterráneos de origen secundario; pero por lo general son menos profundos relativamente los depósitos de grahamita, porque en las cercanías de la superficie del terreno es en donde se verifica más fácilmente la resinificación del chapopote.

La resinificación del petróleo no se verifica de una manera uniforme en todos los receptáculos petrolíferos de origen secundario, ni en todas partes de un mismo receptáculo, cualquiera que sea la forma de este último. En efecto, las causas que originan la resinificación del petróleo no obran con

1 J. P. Kimball. Am. Journ. Science. 3ª Serie. Tomo XII. 1876. Pág. 285.

igual intensidad á todas las profundidades, sino que como dije antes son mucho más activas en las cercanías de la superficie del terreno. En estas cercanías la evaporación de los productos ligeros se verifica con mucha mayor facilidad que en lugares profundos; la oxidación es mucho más activa, por encontrarse mayor cantidad de oxígeno en las cercanías de la superficie del terreno que en la profundidad; y la sulfuración es también más enérgica, porque como dije en el Capítulo anterior, en las cercanías de la superficie del terreno, ó sea en la zona de oxidación, el hidrógeno sulfurado se oxida con precipitación de azufre, lo cual activa la sulfuración y resinificación del petróleo. Por otra parte, cuando se resinifica y endurece el petróleo, la parte dura constituye una cubierta sólida que impide el contacto del chapopote fluido ó petróleo contenido en el interior de la cubierta, con el oxígeno ó el azufre; y por lo tanto, esa cubierta impide más ó menos la resinificación del chapopote situado en el interior de un receptáculo petrolífero de origen secundario.

En vista de lo anterior puede decirse: que no todas las lentes petrolíferas secundarias, situadas al mismo nivel, contienen chapopotes igualmente resinificados; y que por lo general, el chapopote es más fluido y menos denso en las lentes petrolíferas profundas que en las superficiales.

La calidad del chapopote que se encuentra acumulado en grietas es más variable, porque las grietas, aun las que están muy cercanas, comunican á veces con lentes que contienen chapopotes de calidades diferentes; y puede suceder que un pozo corte primero á una grieta comunicada con lente petrolífera muy profunda y con chapopote muy fluido, y á mayor profundidad el mismo pozo corte otra grieta comunicada con lente petrolífera menos profunda que la anterior, y con chapopote menos fluido y más denso. Según esto puede decirse que: por lo general al aumentar la profundidad de un pozo se puede obtener chapopote más fluido, y menos denso que el encontrado en las zonas superiores; pero muchas veces el resultado es contrario, principalmente cuando el pozo va cortando grietas por las cuales se verifica la circulación subterránea de los referidos chapopotes, pues entonces son muchos los cambios en la calidad de esta substancia, por la razón antes indicada.

Antes de concluir este Capítulo voy á indicar algunas ideas relativas á los receptáculos petrolíferos subterráneos de origen primario, en las regiones descritas en este estudio.

En las regiones descritas en los Capítulos anteriores se encuentran manifestaciones superficiales del petróleo del subsuelo en rocas cretácicas, terciarias y cuaternarias; pero en las dos últimas sólo existen chapopotes, es decir, substancias que resultan de la evaporación, oxidación ó sulfuración del petróleo, y únicamente en las rocas cretácicas, como sucede en Pubiche del Estado de San Luis Potosí, se halla el petróleo inalterado impregnando á las calizas. Parece según esto, que en las rocas de la parte superior del Cretácico y tal vez en las del Eógeno también, se verificó principalmente

la descomposición lenta de la materia orgánica animal que originó la formación del petróleo en las regiones descritas. Es probable según esto, que los receptáculos petrolíferos primarios se encuentren en las rocas neocretácicas y en las eogénicas. Estas rocas que afloran ó se encuentran á poca profundidad en Aquismón y San José de las Rusias, están muy profundas en otras regiones, como sucede en los alrededores del cerro de La Pez en el Ebano, en Tuxpan, y en la parte Norte del Istmo de Tehuantepec; pues en todos estos lugares las perforaciones muy profundas sólo han cortado al Plioceno y á la parte superior del Mioceno.

Por los motivos que indiqué en la primera parte de este Capítulo es fundado decir que: en el Neógeno de las regiones estudiadas, la mayor parte de los receptáculos petrolíferos subterráneos son de origen secundario; y como en el Eocretácico y Jurásico no sé que existan en México manifestaciones petrolíferas, me parece por ahora que es en la parte superior del Cretácico y en la inferior del Terciario, en donde se hallan principalmente los receptáculos petrolíferos subterráneos de origen primario. En las rocas eogénicas de San José de las Rusias se encuentran muchos fósiles marinos, lo cual parece ser otra prueba más, de que fué una fauna marina la que proporcionó la materia orgánica que al descomponerse con lentitud se transformó parcialmente en petróleo, hidrocarburo que impregnó á las rocas en las cuales se verificó esa descomposición lenta. Impregnando el petróleo á las calizas, pizarras y areniscas, y rellenando principalmente los poros ó espacios vacíos de estas últimas, y las oquedades de las calizas, quedaron constituídos los receptáculos petrolíferos primarios, con mayor ó menor extensión. Diseminado así el petróleo en las rocas que acabo de mencionar, necesitaba después acumularse en algunos lugares, para que los receptáculos formados en éstos fueran de mayor valor comercial. Para que esta acumulación se pudiera realizar era preciso que las capas sedimentarias se plegaran ó se fracturaran; pues entonces el petróleo, impulsado principalmente por la presión de la roca y la de los gases que siempre lo acompañan, podría emigrar por los planos de estratificación y acumularse en las crestas de los anticlinales formados por el plegamiento de las capas, ó ascendiendo por fracturas podría acumularse en las partes más porosas de las rocas cortadas por las referidas fracturas, formando en éstas ó en las crestas de los anticlinales receptáculos más ó menos importantes, y de mayor ó menor valor comercial.

La estructura monoclinal del terreno en algunas de las regiones antes descritas, y en otras la forma inconveniente de los anticlinales, su muy poca inclinación en los flancos y su mucha pendiente en las cercanías de las crestas, no fueron favorables, como dije antes, para la emigración fácil del petróleo por los planos de estratificación de las capas en que se formó, ni para que circulara entre las caras de separación de las capas superpuestas á las anteriores, y á las cuales llegó el petróleo ascendiendo por grietas, que las ponían en comunicación con los estratos petrolíferos situados debajo de ellas.

El esfuerzo horizontal al cual estuvieron sometidas las capas terciarias de las localidades que he descrito, fué relativamente pequeño; y por lo tanto, como dije antes, fué también poco notable el plegamiento y el agrietamiento del terreno.

La estructura general y el agrietamiento del terreno no fueron favorables para la fácil emigración del chapopote y su acumulación en grandes receptáculos petrolíferos secundarios; pero en cambio, el haber sido cortadas y á veces inyectadas las rocas sedimentarias por las partes intrusivas de los basaltos que he mencionado, compensó en parte la desfavorable estructura monoclinal del terreno, y facilitó la emigración del chapopote. Este último se acumuló en la zona de contacto entre las rocas sedimentarias y la parte intrusiva de los basaltos, y formó receptáculos petrolíferos cercanos y directamente comunicados con las referidas zonas de contacto.

Fijar desde la superficie del terreno la posición que ocupan en el subsuelo las lentes petrolíferas es hasta ahora imposible, como lo dije antes, y como lo repetiré después. En cambio, en la superficie del terreno se observan con facilidad las zonas de contacto antes mencionadas; y como estas zonas son trayectos fáciles para la emigración del chapopote de la profundidad hacia la superficie del terreno; y como muchas veces se encuentran cercanas á esas zonas de contacto lentes petrolíferas secundarias de importancia industrial, he considerado muy interesantes esas zonas para la exploración de las regiones petrolíferas descritas en este estudio. Cuando en el afloramiento de las zonas de contacto mencionadas se encuentran chapopoteras, las cuales indican que por esas zonas se verifica una circulación subterránea de chapopote, creo que en esas zonas y cerca de las chapopoteras, deben abrirse las primeras perforaciones exploradoras; porque éstas en poco tiempo relativamente pueden proporcionar datos muy interesantes para poder opinar, con fundamento, acerca del valor comercial de la región petrolífera que se estudia y explora.

Resumen

Como conclusiones generales de esta parte de mi estudio puedo indicar las siguientes.

El chapopote de la costa del Golfo de México en las regiones aquí descritas, parece ser un producto de descomposición lenta de la materia animal, proporcionada por una fauna marina neocretácica y eogénica principalmente.

Los receptáculos petrolíferos subterráneos cortados hasta ahora por las perforaciones no parecen ser primarios sino secundarios, es decir, que el chapopote no se formó en las capas cortadas, sino que se acumuló en ellas el petróleo ya resinificado que caminó por grietas desde los receptáculos primarios, hasta encontrar lugares apropiados para su acumulación. Estos lugares fueron principalmente: los tramos porosos de las rocas, los espacios

vacíos existentes entre las caras de separación de los estratos, y también las grietas por las cuales emigró el petróleo y se resinificó.

Por los datos obtenidos con las perforaciones puede decirse: que en las regiones estudiadas los receptáculos petrolíferos secundarios tienen la forma de vetillas, de venas y de lentes aplastadas, relativamente de pequeñas dimensiones por lo general; y que estas lentas están diseminadas en una gran extensión de terreno, y se hallan también muy diseminadas á la profundidad.

La estructura monoclinal del terreno en algunas de las regiones estudiadas, y en otras la forma inconveniente de los anticlinales, su muy poca inclinación en los flancos y su mucha pendiente en las cercanías de las crestas, no fueron favorables para la emigración fácil del chapopote por las caras de separación de los estratos, ni para su acumulación en grandes receptáculos petrolíferos de origen secundario.

Las zonas de contacto entre las rocas sedimentarias y las partes intrusivas de los basaltos de las regiones descritas, compensaron en parte la desfavorable estructura monoclinal, facilitaron la emigración del chapopote de la profundidad hacia la superficie del terreno, y permitieron la acumulación del chapopote en receptáculos directamente comunicados con las referidas zonas de contacto.

Cuando existen chapopoteras en el afloramiento de las zonas de contacto antes mencionadas, creo que cerca de ellas deben abrirse las primeras perforaciones exploradoras, las cuales cuentan con probabilidades de éxito comercial, y son ellas las que en poco tiempo relativamente pueden proporcionar datos muy interesantes para poder opinar con fundamento, acerca del valor comercial de la región petrolífera que se estudia y explora.

IMPORTANCIA RELATIVA

Y

EXPLORACION DE LAS REGIONES PETROLIFERAS ANTES DESCRITAS

Las perforaciones ejecutadas hasta ahora en las regiones petrolíferas de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, regiones que he descrito en los Capítulos anteriores, han proporcionado como principales los siguientes datos.

Los que he llamado receptáculos petrolíferos subterráneos de las regiones mencionadas, tienen la forma de venas, vetillas ó lentes que son por lo general de pequeñas dimensiones. Las lentes anteriores están diseminadas en una extensión muy grande de terreno.

Los hidrocarburos líquidos contenidos en esas lentes están más ó menos oxidados ó sulfurados, son bastante densos, de color negro, de base asfáltica, pobres en aceites iluminantes, y constituyen la substancia llamada "chapopote."

El chapopote tiene en el subsuelo de las regiones mencionadas diferentes consistencias, según es el grado de su oxidación ó sulfuración. Se encuentra fluido en las lentes que han sido cortadas por los pozos cercanos del cerro de La Pez en el Ebano, por los de Cerro Viejo y hacienda Chapopote en Tuxpan, por los de Cubas en Papantla, y por los de Jáltipan y San Cristóbal en el Istmo de Tehuantepec. El Chapopote es viscoso en los primeros cuatro pozos que se abrieron en el Ebano, en los tajos de San José de las Rusias, en Tamaulipas, y en la mayor parte de las chapopoteras mencionadas en los Capítulos anteriores. El chapopote duro se encuentra llenando grietas, y también pequeñas cavidades lenticulares, en el Cantón de Tantoyuca, principalmente en los ríos Tempoal y Capadero, y en los arroyos Los Venados, San Juan y Tancanzahuela. Se halla también el chapopote duro llenando grietas más ó menos angostas en los ríos el Espinal y el Quilate, que están situados: el primero en el Cantón de Papantla, y el segundo en el lindero de los Cantones de Misantla y Jalacingo, todos del Estado de Veracruz. Por último, se ha encontrado el chapopote duro en algunos de los pozos de Sabaneta en Papantla, y en algunas de las perforaciones hechas en Jáltipan del Istmo de Tehuantepec.

Las perforaciones que hasta ahora han dado mejores resultados comerciales, y que han producido mayor cantidad de chapopote; son las que se han abierto cerca de las chapopoteras situadas en las zonas de contacto, entre las rocas sedimentarias neogénicas y los arrecifes calizos preterciarios del Istmo de Tehuantepec; ó en el contacto entre las mismas rocas sedimentarias neogénicas y la parte intrusiva de los basaltos pleistocénicos.

Las perforaciones que se han abierto en las zonas de contacto antes mencionadas no han dado resultados comerciales, cuando en esas zonas no han existido chapopoteras. De este caso son un ejemplo los pozos de Sabaneta en Papantla.

Teniendo en cuenta los hechos que acabo de mencionar; y también las razones expuestas en el Capítulo anterior, de acuerdo con las cuales puede asegurarse, que la estructura del terreno en las regiones antes descritas no es la más favorable para permitir grandes acumulaciones de petróleo en el subsuelo, sino que los hidrocarburos en vez de reunirse quedan diseminados en lentes generalmente pequeñas, y distribuídas en una gran extensión superficial; y teniendo en cuenta por último, los datos ya indicados relativos á la topografía del terreno, y á las vías de comunicación más ó menos fáciles que existen en cada una de las regiones petrolíferas estudiadas, se llega á las siguientes conclusiones.

Los hidrocarburos líquidos que más comunmente se obtendrán al abrir perforaciones en las zonas petrolíferas de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, serán bastante densos, escasos en aceites iluminantes, de color negro y de base asfáltica.

Los pozos relativamente más productivos serán, por lo general, los que se hallen en las cercanías de las chapopoteras situadas en las zonas de contacto entre las rocas sedimentarias y las ígneas en sus partes intrusivas.

La producción de los pozos, aun de los que se encuentren muy cercanos entre sí, será diferente; y también será variable el tiempo que dure su producción.

Desde el punto de vista comercial puede decirse que son comparables las siguientes regiones: Tuxpan, desde San Gerónimo y Tepezintla, por Cerro Azul, Tierras Amarillas y Cerro Viejo, hasta la hacienda Chapopote al Poniente de Tuxpan; Cubas, en el Cantón de Papantla; la parte Sur-Este de la región de Tantoyuca, cercana de los basaltos; el Ebano y San José de las Rusias, siendo la primera región la más importante probablemente. Son de menor importancia industrial que las anteriores, las siguientes zonas: Aquismón, Tantoyuca, en la parte Norte, Motzorongo, Sabaneta, Comalteco, Espinal, y los Cantones de Jalacingo y Misantla. En el Istmo de Tehuantepec la zona más interesante, y tal vez la única de importancia industrial como petrolífera, es la de San Cristóbal.

Las chapopoteras por su importancia industrial pueden mencionarse en orden decreciente como sigue: 1º Cerro Azul y Juan Felipe; 2º Cerro Viejo, Cubas, Solís, Cerro Chapopotal; 3º Tierras Amarillas, Cerro de La Pez,

El Ebano, Chijol; y 4º todas las otras chapopoteras mencionadas en este estudio.

Por la facilidad de explotación, en lo relativo á vías de comunicación actuales, en orden decreciente pueden mencionarse las regiones petrolíferas como sigue: Ebano, Istmo de Tehuantepec, Tuxpan, Aquismón, Tantoyuca, Papantla y San José de las Rusias.

La exploración de las regiones petrolíferas se encuentra en sus principios solamente. Se han explorado más, aunque no por completo, las siguientes regiones: Ebano, Istmo de Tehuantepec, Cubas, Sabaneta, Tulapilla y Comalteco. Las regiones de Tuxpan, San José de las Rusias y Aquismón están casi inexploradas, lo mismo que las otras regiones que he mencionado en este estudio.

La producción de chapopote fluido es relativamente pequeña en la actualidad, como se comprende por los datos que han sido indicados al describir las localidades comercialmente productoras hasta hoy en México, y que son: Cubas, en Papantla; El Ebano, en San Luis Potosí; y San Cristóbal, en el Istmo de Tehuantepec. La producción media actual puede calcularse en cuarenta y cinco mil barriles mensuales aproximadamente.

El chapopote duro (la grahamita, la albertita, etc.) puede decirse que en México no se ha encontrado en cantidad comercial; pues se halla solamente como relleno de lentes aisladas, de dimensiones pequeñas, ó en grietas muy irregulares, generalmente angostas, situadas en los meandros de los ríos ó arroyos. Por su importancia relativa, aunque no comercial, pueden citarse en orden decreciente las localidades en que hay chapopote duro como sigue: El Cristo, Los Venados, Tancanzahuela, en el Cantón de Tantoyuca; El Ojite y El Espinal, en Papantla; y el río Quilate que se halla en el lindero entre los Cantones de Misantla y Jalacingo, lugares todos del Estado de Veracruz.

* * *

Para trazar las perforaciones exploradoras en las regiones petrolíferas descritas en este estudio, no son útiles las reglas conocidas, por las siguientes razones.

No puede aplicarse la teoría del anticlinal, porque esta estructura, como dije antes, no ha favorecido en México la acumulación del petróleo en gran cantidad, debido á que los flancos de los anticlinales tienen muy poca inclinación, y esto impide que el chapopote pueda vencer las resistencias que se oponen á su movimiento ascensional hasta la cresta de los anticlinales. Por consiguiente, en vez de acumularse los hidrocarburos en las crestas, quedan muy diseminados en los flancos de los referidos anticlinales. Además, como la forma probable de los receptáculos petrolíferos subterráneos en las regiones descritas, es la de pequeñas lentes muy diseminadas, nadie

sabe hasta ahora cómo se pueda fijar desde la superficie del terreno la posición de esas lentes subterráneas.[1]

Antes se aceptaba como ubicación favorable para las perforaciones exploradoras, los lugares donde se encuentran manantiales de petróleo; pero la práctica ha demostrado que es inadecuada esta ubicación, porque los referidos manantiales, que en México son conocidos con el nombre de «chapopoteras,» no tienen una conexión inmediata con los grandes receptáculos petrolíferos subterráneos.[2]

En vista de lo anterior puede decirse que: sólo una plausible casualidad podrá motivar el éxito comercial de alguna ó algunas perforaciones en las zonas petrolíferas ya descritas; regiones en las que existe sin duda chapopote en el subsuelo, pero está tan diseminada esta substancia, que no pueden darse reglas precisas para trazar perforaciones que con seguridad alcancen éxito comercial. En vista de esto sólo puedo decir que: para comenzar la exploración de las regiones petrolíferas descritas, será conveniente abrir perforaciones en las cercanías de las chapopoteras, principalmente de las que se encuentren en las zonas de contacto entre las rocas sedimentarias y las ígneas en sus partes intrusivas. Estas perforaciones podrán no cortar directamente á un receptáculo petrolífero subterráneo; pero sí es muy probable que corten á alguna de las grietas ó conductos por los cuales se verifica la emigración del chapopote de la profundidad hasta la superficie del terreno. Por las razones que he indicado en varias partes de este estudio, puede decirse que las zonas de contacto que acabo de mencionar son las zonas más probables de emigración del chapopote; y por lo tanto, las perforaciones en estas zonas tienen probabilidades de alcanzar algún éxito comercial, cuando en las referidas zonas de contacto existan chapopoteras. Estas últimas podrán no estar en conexión directa con los grandes receptáculos petrolíferos que existen en el subsuelo de las regiones mencionadas; pero las perforaciones que se abran cerca de estas chapopoteras, tienen bastantes probabilidades de cortar á las grietas ó conductos que comuniquen con esos grandes receptáculos, y por los cuales se verifica la emigración del chapopote.

Las perforaciones exploradoras trazadas como acabo de indicar producirán chapopote, es decir, hidrocarburos más ó menos oxidados y sulfurados; porque esas perforaciones cortarán conductos de emigración ó receptáculos secundarios, y en todos éstos sólo se encuentran petróleos que han perdido la mayor parte de los aceites ligeros, y que se han resinificado transformándose en chapopote. Sin embargo, como las perforaciones trazadas en las cercanías de las chapopoteras que se hallan en las zonas de contacto entre las rocas sedimentarias y las ígneas en sus partes intrusivas, son las que con mayores probabilidades alcanzarán éxito industrial, creo que esas

1 Robert T. Hill. Loc. cit., pág. 366.

2 S. H. Stowell. Petroleum. Mineral Resources of the United States. 1883. Pág. 214.

son las perforaciones que deben hacerse primero, para tener una idea del valor comercial de cada una de las regiones petrolíferas. Después de haber alcanzado éxito con las perforaciones anteriores, podrán hacerse otras, ubicadas á mayor distancia de las zonas de contacto mencionadas, y las cuales tendrán por objeto ver si con ellas se obtienen chapopotes de mejor calidad. En todo caso, las perforaciones que se hagan deberán ser profundas; y creo muy acertado decir, con Hayes y Kennedy,[1] que: en las regiones descritas en este estudio será mucho mejor hacer un pozo de mil ó mil doscientos metros de profundidad, que varias perforaciones de quinientos ó seiscientos metros solamente. Me fundo para decir lo anterior en lo siguiente. Las manifestaciones petrolíferas superficiales en las regiones descritas se encuentran desde el Cretácico en Pubiche, arriba de Tanchanaco, en el Estado de San Luis Potosí, y en el Eógeno de San José de las Rusias, en Tamaulipas, hasta el Mioceno superior y Plioceno de Papantla y el Istmo de Tehuantepec, en el Estado de Veracruz. Por otra parte, el Terciario en la costa del Golfo de México es bastante grueso, como lo han demostrado las perforaciones profundas del Ebano y del Istmo de Tehuantepec. Por lo tanto, si el Terciario es muy grueso en las regiones petrolíferas descritas; y si en todo el Terciario y también en la parte superior del Cretácico, se han encontrado hidrocarburos líquidos en las regiones mencionadas, creo fundado decir que: á medida que una perforación sea más profunda en esas zonas, tendrá mayores probabilidades de cortar varios conductos de emigración de los hidrocarburos del subsuelo, y aun de cortar á alguna de las lentes petrolíferas que se hallan muy diseminadas en el sentido horizontal, y también á la profundidad en esas regiones. Además, los pozos muy profundos podrán cortar algunos conductos que se hallan relativamente cerca de los receptáculos petrolíferos primarios, y en los cuales la oxidación y sulfuración de los hidrocarburos será menor que en los lugares más cercanos de la superficie del terreno; y por lo mismo, esos pozos profundos, convenientemente trazados, tienen probabilidades de permitir la fácil salida al exterior de hidrocarburos líquidos, de mucha mejor clase que los chapopotes que se hallan á poca profundidad, y también en la superficie del terreno.

Resumen

Como resumen de esta parte de mi estudio puedo decir lo siguiente.

La estructura general del terreno en las regiones petrolíferas descritas en este estudio, no es favorable para permitir grandes acumulaciones de petróleo en el subsuelo; y por lo tanto, los receptáculos petrolíferos subterráneos en esas regiones son probablemente lenticulares, generalmente pequeños, y estas lentes están muy diseminadas tanto en el sentido horizontal como á la profundidad.

1 Loc. cit., pág. 86.

La mayor parte de los hidrocarburos líquidos que se hallen en el subsuelo de las referidas regiones, estarán más ó menos oxidados y sulfurados, serán de base asfáltica, y contendrán pequeña cantidad de aceites iluminantes.

Es muy probable que se obtenga bastante cantidad de chapopotes fluidos y viscosos al hacer perforaciones en varios lugares de las regiones descritas; y aun es posible que se encuentren hidrocarburos líquidos menos densos, al perforar pozos bastante profundos en algunas de las localidades ya indicadas.

La exploración de las regiones petrolíferas de México apenas está comenzando, y esta exploración es la única que puede proporcionar datos suficientemente exactos para emitir, más adelante, opiniones mejor fundadas acerca del valor comercial de las referidas regiones petrolíferas.

Teniendo en cuenta todo lo anterior creo que: deben ser exploradas las regiones descritas en este estudio; pero esas exploraciones deberán hacerse con criterio científico, con método, y con mucha precaución, para evitar los fracasos y la pérdida completa de los cuantiosos capitales que es necesario invertir en esta clase de exploraciones.

ANALISIS DE LOS CHAPOPOTES

Los resultados de los análisis de las muestras de chapopotes colectadas en las regiones descritas en los capítulos anteriores, me fueron proporcionados por el Jefe del Laboratorio de Química del Instituto Geológico de México; y puedo decir, que en lo general esos análisis fueron ejecutados por el método indicado en el Boletín número 31 del California State Mining Bureau, por H. N. Cooper.

Los resultados son los siguientes:

ANALISIS QUIMICOS DE CHAPOPOTES MEXICANOS

DESTILACION FRACCIONADA

Número del análisis.	Región de	LOCALIDAD	Consistencia.	Peso específico.	Azufre por ciento.	CANTIDADES POR CIENTO A LAS TEMPERATURAS DE						PESO ESPECIFICO DE LAS FRACCIONES ANTERIORES A 15°C.						Número del análisis.
						20 á 150°	150 á 200°	200 á 250°	250 á 300°	300° á Asfalto.	Asfalto.	20 á 150°	150 á 200°	200 á 250°	250 á 300°	300° á Asfalto.	Asfalto.	
839	Ebano.........	Pozo 17..............................	Fluído......	0.996	2 59	12.87	1.75	4.08	8.45	26.28	44.07	......	0.774	0.828	0.885	0.885	......	839
840	Idem...........	Chapopotera Tampalache......	Viscoso.....	1 085	2.10	7.49	9.84	4.29	6.92	19.86	47.51	0.819	0.829	0.845	0.877	0.938	1.13	840
819	Tuxpan...	Chapopotera Cerro Azul	Fluído......	0.987	2.21	10.87	6.84	14.00	12.85	18.11	36.23	0.860	0.904	0.912	0.986	0.942	1.132	819
817	Idem...........	Chapopotera Cerro Viejo......	Fluído......	0.978	1.12	10.62	9.86	28.51	14.75	0.00	34.46	0.868	0.905	0.920	0.932	......	1.180	817
818	Papantla......	Chapopotera Cubas.............	Fluído......	0.983	2.12	13.54	9.60	15.86	30.29	0.00	27.79	0.866	0 907	0.919	0.988	......	1.128	818
790	Tehuantepec.	Jáltipan, Pozo 2.................	Fluído......	0.983	1.87	9.87	10.41	8.92	25.20	28.44	26.14	0.862	0.908	0 916	0.924	0.934	1.128	790
452	Idem...........	Chapopotera San Cristóbal....	Fluído......	0 966	2.84	17.88	10.66	0.00	17.78	23.71	28.64	0.834	0.906	... ..	0.918	0.936	1.124	452

NOTA.—La fracción destilada entre 20 y 150° está constituída por agua y pequeña cantidad de aceites ligeros.

Análisis industriales de los chapopotes duros y semiduros, por medio de disolventes

Número del análisis.	REGION	CHAPOPOTERA DE	Humedad por ciento.	Parte soluble en		Parte insoluble en acetona y Cloroformo		Azufre en la parte soluble por ciento.
				Acetona. — Petrolena por ciento.	Cloroformo. — Asfaltena por ciento.	Materia no bituminosa por ciento	Cenizas por ciento.	
762	San José de las Rusias.	San Rafael	1.12	18.91	30.70	10.99	48.28	1.88
538	Idem ídem	Espinazo	0.46	38.61	60.00	0.00	0.93	1.64
628	Idem ídem	Salerito	0.69	48.22	31.80	7.14	12.15	1.81
684	Idem ídem	Gorrión	1.70	36 91	29.71	8.58	28.10	......
839 bis.	Ebano	Pozo núm. 7. Chapopote fluído	0.00	73.54	26.46	0.00	0.00	2.59
840 bis.	Idem	Tampalache	5.86	41.02	37.26	0.10	15.76	2.10
446	Túxpan	Cerro Azul	0.00	21.20	77.67	0.00	1.18	5.31
788	Idem	Tierras Amarillas	0.26	26.18	72.24	0.48	0.84	5 31
664	Idem	Cerro Viejo	2.41	21.26	41.80	1.26	33.27	3.11
789	Idem	Chapopotito de los Martínez	1.87	27.69	41.03	6.20	28 71	4.88
442	Idem	Idem ídem	0.91	34 79	42.29	5.41	16.60	4.47
587	Tehuantepec	Chapo	1·02	32.84	63.17	0.28	2.69	4.80
690	Misantla	Río Quilate. Grahamita	0.33	16.97	66.24	3.78	12.68	......
714	Idem	Idem ídem	0.17	18.88	74.75	0.86	5.84	2.45

Se ve por los datos anteriores que: en los chapopotes analizados es muy pequeña la cantidad de destilados de ebullición baja, los cuales suelen caracterizar al petróleo de Pensylvania; y en cambio contienen una proporción mayor de aceites de ebullición alta. Estos últimos productos son indispensables en la manufactura de aceites lubricantes; y por lo tanto, los chapopotes fluidos mexicanos pueden servir más bien para la fabricación de lubricantes y no para la de aceites iluminantes.

La densidad de los petróleos crudos de Pensylvania y de Ohio llega algunas veces á ser 0.898 y 0.936, y los petróleos rusos son por lo general mucho más densos. Además, los petróleos rusos naturales cuando se destilan dan pocos productos ligeros y muchos pesados, mientras que con los petróleos americanos sucede todo lo contrario. Por último, los petróleos crudos americanos contienen mucha parafina, y los rusos contienen muy poca. Por los datos anteriores puede decirse que los chapopotes fluidos mexicanos tienen más semejanza con los petróleos rusos que con los americanos; pues son bastante densos, producen al destilarlos pequeña cantidad de aceites ligeros, y no son de base de parafina sino de base asfáltica.

Comparados los chapopotes mexicanos más fluidos con los petróleos crudos del Estado de California, E. U. A., puede decirse que: tienen alguna semejanza con los petróleos más densos de Santa Bárbara, Los Angeles y Kern, en lo que se refiere á la cantidad de asfalto contenido en ellos, y á la cantidad de sus diferentes destilados; pero son más densos los destilados obtenidos con los chapopotes fluidos mexicanos, que con los más densos petróleos crudos californianos.

IMPORTANCIA RELATIVA

Y

EXPLORACION DE LAS REGIONES PETROLIFERAS ANTES DESCRITAS

Las perforaciones ejecutadas hasta ahora en las regiones petrolíferas de los Estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, regiones que he descrito en los Capítulos anteriores, han proporcionado como principales los siguientes datos.

Los que he llamado receptáculos petrolíferos subterráneos de las regiones mencionadas, tienen la forma de venas, vetillas ó lentes que son por lo general de pequeñas dimensiones. Las lentes anteriores están diseminadas en una extensión muy grande de terreno.

Los hidrocarburos líquidos contenidos en esas lentes están más ó menos oxidados ó sulfurados, son bastante densos, de color negro, de base asfáltica, pobres en aceites iluminantes, y constituyen la substancia llamada "chapopote."

El chapopote tiene en el subsuelo de las regiones mencionadas diferentes consistencias, según es el grado de su oxidación ó sulfuración. Se encuentra fluido en las lentes que han sido cortadas por los pozos cercanos del cerro de La Pez en el Ebano, por los de Cerro Viejo y hacienda Chapopote en Tuxpan, por los de Cubas en Papantla, y por los de Jáltipan y San Cristóbal en el Istmo de Tehuantepec. El Chapopote es viscoso en los primeros cuatro pozos que se abrieron en el Ebano, en los tajos de San José de las Rusias, en Tamaulipas, y en la mayor parte de las chapopoteras mencionadas en los Capítulos anteriores. El chapopote duro se encuentra llenando grietas, y también pequeñas cavidades lenticulares, en el Cantón de Tantoyuca, principalmente en los ríos Tempoal y Capadero, y en los arroyos Los Venados, San Juan y Tancanzahuela. Se halla también el chapopote duro llenando grietas más ó menos angostas en los ríos el Espinal y el Quilate, que están situados: el primero en el Cantón de Papantla, y el segundo en el lindero de los Cantones de Misantla y Jalacingo, todos del Estado de Veracruz. Por último, se ha encontrado el chapopote duro en algunos de los pozos de Sabaneta en Papantla, y en algunas de las perforaciones hechas en Jáltipan del Istmo de Tehuantepec.

SECRETARÍA DE FOMENTO, COLONIZACIÓN É INDUSTRIA

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

DIRECTOR, JOSÉ G. AGUILERA

LA GRANODIORITA DE CONCEPCIÓN DEL ORO

EN EL

ESTADO DE ZACATECAS

Y

SUS FORMACIONES DE CONTACTO

POR EL

DOCTOR ALFRED BERGEAT

Profesor
en la Universidad de Königsberg

(Con 9 láminas y 15 figuras en el texto)



MÉXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Callejón de Betlemitas núm. 8

1910

SECRETARÍA DE FOMENTO, COLONIZACIÓN É INDUSTRIA

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

DIRECTOR, JOSÉ G. AGUILERA

LA GRANODIORITA DE CONCEPCIÓN DEL ORO

EN EL

ESTADO DE ZACATECAS

Y

SUS FORMACIONES DE CONTACTO

POR EL

DOCTOR ALFRED BERGEAT

Profesor
en la Universidad de Königsberg

(Con 9 láminas y 15 figuras en el texto)



MÉXICO

IMPRENTA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Callejón de Betlemitas núm. 8

1910

LA GRANODIORITA DE CONCEPCION DEL ORO

EN EL ESTADO DE ZACATECAS

Y SUS FORMACIONES DE CONTACTO

Por el Dr. Alfred Bergeat, Profesor en la Universidad de Koenigsberg

(Con 9 láminas y 13 figuras en el texto).

INTRODUCCION

Concepción del Oro es una población minera situada en la parte extrema del NE. del Estado de Zacatecas, á pocas leguas al Este de la cabecera del Distrito de Mazapil, que, siendo de menor importancia, está indicado en gran número de mapas. Se llega en pocas horas á Concepción por medio de un ferrocarril en buen estado, construído por la «Mazapil Copper-Company» inglesa, que empalma en Saltillo con la línea principal «Laredo-México». Este ramal atraviesa muchas sierras formadas principalmente de caliza mesozoica, cuya monotonía interrumpen á veces los grupos de yuccas con sus formas bizarras, y pasa por largas y amplias llanuras, que parecen casi enteramente despobladas y que se cubren parcialmente en tiempo de aguas con una infinidad de flores. En los meses sin lluvia el suelo seco y pedregoso ó cubierto por una costra de caliche, produce únicamente una flora capaz de resistir al clima y bastante variada, compuesta de agaves, yucas, cácteas, árbol del Perú, etc. Habiendo visto aquella llanura silenciosa, con sus extendidas sierras, con sus tintas profundas de un crepúsculo tropical de Otoño, el viajero jamás olvidará este paisaje.

Inmediatamente antes de llegar á Concepción el tren atraviesa la sierra del mismo nombre y siguiendo un valle estrecho llega pronto á la población situada á la altura de 2,070 metros. Habiendo cruzado al último una pequeña llanura, nos sorprende encontrarnos de repente en un paisaje alpino, con cerros de formas bastante variadas. El valle mismo representa el corto desagüe por el cual salen á la llanura las aguas, que se juntan en una cuenca no muy extensa pero orográficamente bastante complicada. De las chimeneas de una fundición moderna de cobre se levantan nubes obscuras de humo; la población misma con sus casas multicolores, causa una impresión agradable. Los habitantes, casi exclusivamente mestizos, ganan su vida en las ricas minas de cobre de los alrededores y en la fundición, siendo Concepción, en la actualidad, el centro de una región muy rica en criaderos de metal. La verdadera cabecera de esta región es Mazapil, que ha perdido

mucho de su importancia. Villarello[1] ha publicado algunas noticias sobre la historia minera de la región. Según esas noticias, los españoles extrajeron metales de estos cerros desde el Siglo XVI, y el valor del oro y de la plata extraídos en el curso de 150 años, se calcula en 26 millones de pesos. Habiendo sido los medios de transporte de aquella época sumamente imperfectos, sólo se pudieron explotar los metales preciosos que se encontraron en los afloramientos ricos de los yacimientos de plomo y de cobre. Una de las antiguas minas de oro en las cercanías inmediatas de la ciudad actual, se llamó Concepción del Oro. Se explotó allí el oro aluvial, y además se extrajo del cuarzo de la superficie del criadero cerca de la actual mina de cobre de Catarroyo, cuyos metales aún hoy día son auríferos. La explotación del cobre se tomó apenas en consideración, pero se utilizaron los sulfatos de cobre y fierro naturales empleándolos como «magistral» para la amalgamación de los minerales de plata y hasta se transportaron á Zacatecas. Desde que adquirió la «Mazapil Copper Company,» de Manchester, hace cosa de 20 años, las antiguas minas y estableció también otras nuevas, tomó un nuevo desarrollo la explotación minera por aquellos rumbos. Se establecieron ferrocarriles, caminos, vías de cable de acero; socavones, alumbrado eléctrico, y sobre todo, la gran fundición de cobre. Solamente la mina principal, Aranzazú, produjo ya en el año de 1906, mensualmente, 7,000 toneladas de mineral de cobre de una ley de 5 por ciento y existe la posibilidad de un aumento de producción ya para el porvenir inmediato. La fundición de cobre produce matas que se benefician en Swansea, Inglaterra.

Los alrededores cercanos y lejanos de Concepción del Oro, ofrecen interés geológico y mineralógico por el desarrollo en parte excelente de las formaciones jurásica y cretácica, bajo condiciones tectónicas que recuerdan las de los Alpes. Además, encontramos una intrusión moderna de una roca ígnea con extensos fenómenos de contacto bien visibles en muchos trabajos mineros, por encontrarse precisamente en el contacto ricos criaderos de chalcopyrita. Por todas estas particularidades, aquel lugar habría adquirido celebridad geológica y mineralógica, desde hace mucho tiempo, si no hubiera sido difícil el acceso á aquella parte del país por largo tiempo.

Las condiciones estratigráficas y paleontológicas de la Sierra de Concepción y de los alrededores de Mazapil han sido estudiadas con detalle por Carlos Burckhardt, quien publicó sobre ellas varios trabajos importantes para el conocimiento del Mesozoico americano.[2]

Los criaderos metalíferos de Aranzazú fueron descritos por Villarello en su trabajo geológico-minero, citado arriba.

1 Le minéral d'Aranzazú (Etat de Zacatecas). Guide des Excursions du Xe. Congrès géologique international. Mexico, 1906, num. XXV. (Excursion du Nord).

2 C. Burckhardt, Géologie de la Sierra de Concepción del Oro. Guide des excursions du Xme. Congrès géologique international. 1906. Excursion du Nord, num. XXIV; Géologie de la Sierra de Mazapil et Santa Rosa. Ibidem num. XXVI; La Faune Jurassique de Mazapil, avec un appendice sur les fossiles du Crétacique inférieur. Bol. del Inst. Geológ. de México, núm. 23. Con 43 láminas. 1906.

Durante mi estancia en México, en el Otoño de 1906, mi amigo el Doctor Burckhardt me hizo la agradable proposición de completar sus trabajos y los del Sr. Villarello por un estudio petrográfico y mineralógico detallado. Del 25 al 27 de Septiembre seguí la parte de la «Excursión del Norte» del Congreso Geológico que visitó, bajo la dirección de Burckhardt, la región de Concepción y Mazapil, y me quedé después en Concepción hasta el 8 de Octubre, para estudiar hasta donde fuera posible las formaciones de contacto y las rocas eruptivas. Las páginas siguientes son el resultado de estos estudios é investigaciones que después hice de un material de varios centenares de muestras de minerales y rocas.

En Concepción fuí recibido muy bien por las autoridades municipales y los empleados de las minas y de la fundición. Por su amable ayuda tengo que dar las gracias al señor Director General Browning. La franca y cordial hospitalidad de que gocé en Aranzazú durante varios días, en la familia del señor Ingeniero Cooper, constituirá para siempre uno de mis recuerdos más gratos. Durante mis estudios, tuve el gusto de recibir varias informaciones por parte del Sr. Dr. Burckhardt y le reitero mis gracias por haberme hecho la proposición de estudiar aquella región.

Respecto á la configuración de la región puede consultarse la carta publicada por mí en el Beilageband XXVIII del Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc., que es una copia del plano de Burckhardt simplificado en algunas partes y completado en otras. Además, facilitarán la orientación las vistas escogidas entre mis fotografías y el texto que las acompaña. Las tres cimas más notables cerca de Concepción son el «Picacho del Abra» y el «Picacho de los Angeles,» al Sur (2,734 y 2,830 metros) y al otro lado del valle la elevación dominante de 2,928 metros del Cerro del Temeroso. Aunque dichos cerros se levantan apenas 1,000 metros sobre el fondo del valle, por su bizarra configuración dan á estas montañas un carácter alpino. Están formados por rocas calcáreas. A la montaña eruptiva no le falta cierto atractivo escénico en los detalles, pero ni en sus mayores alturas, que limitan el fondo del valle, alcanza su configuración la variabilidad de la montaña calcárea. Al contacto de la roca ígnea con el Mesozoico, siguen dos de los valles principales, uno á lo largo del camino que va á las minas, subiendo hacia la altura de Aranzazú y formando la continuación natural del valle principal y otro que es el escarpado Cañón del Arco, lleno de masas de pedruzcos, que empieza entre el «Picacho de los Angeles» y el «Picacho del Abra» en el Puerto del Arco y termina abajo en la corriente del Arroyo de la Plata. El Cañón del Almagre situado más al Este, con dirección paralela á aquella, indica una falla y otra el valle de Concepción, por lo menos parcialmente.[1]

1 Enumeración de mis excursiones y de los puntos visitados: Por el Puerto de la Laborcilla y el Cerro de los Tajos al "Picacho del Abra," y por el Cañón del Arco á Catarroyo. Por Cabrestante y Catarroyo á Promontorio y Las Animas (visita de las minas). Estudio de la "Piedra Cargada" cerca de Concepción. Visita á la mina "El Carmen;" subida por la fundición vieja. Ascensión por

RESUMEN DE LAS CONDICIONES ESTRATIGRAFICAS Y TECTONICAS SEGUN C. BURCKHARDT

La interpretación estratigráfica de los depósitos jurásicos y cretácicos en el extremo Noreste del Estado de Zacatecas, se basa en el estudio de Burckhardt, sobre las sierras de Mazapil, situadas al SW. de Concepción. Una de esas sierras, la de Santa Rosa, forma un extendido pliegue ligeramente invertido hacia el Norte, en cuyo flanco septentrional invertido se observa[1] la intrusión de una roca porfírica, determinada por Rosenbusch como dacita. En los alrededores de Mazapil el carácter petrográfico de las capas es en lo general semejante al de las capas de Concepción, pero allí se pudieron subdividir con más detalle, mientras que cerca de Concepción faltan algunas intercalaciones fosilíferas.

Según Burckhardt el número de fósiles es en lo general más pequeño cerca de Concepción que en la Sierra de Santa Rosa. Durante las dos semanas que pasé en esa región no pude dedicar toda mi atención á la estratigrafía y á los fósiles. Pero como casi no salí entonces del terreno levantado por Burckhardt, me es posible designar también la posición estratigráfica respecto á la localidad en donde encontré las rocas estudiadas y que se hallarán mencionadas más adelante.

Burckhardt divide los depósitos jurásicos y cretácicos de la Sierra de Santa Rosa de la manera que consta en el cuadro adjunto.

Es posible que al cretácico superior pertenezcan también las areniscas verdes sobrepuestas á las capas con *Inoceramus*, y las pizarras parduscas y negruzcas que se extienden en la parte más hacia el NE. de la región levantada por Burckhardt, pero que yo no visité. Más adelante se presentará la ocasión de hablar sobre la naturaleza petrográfica y química de los sedimentos en cuanto disponga de muestras.

El rumbo de las capas jurásico-cretácicas es en lo general de NW. á SE. cambiando algo, siendo el echado de las capas muy variado. También sin el conocimiento más detallado de las condiciones estratigráficas el geólogo pronto notará grandes dislocaciones de las capas. Se pueden observar perfectamente bien plegamientos complicados y se reconocen, por ejemplo, ya desde lejos en las calizas con Nerineas grafíticas metamorfizadas por contacto entre el Picacho del Abra y el Picacho de los Angeles.

el flanco occidental del Cañón del Almagre á la mina de La Cruz. Varias investigaciones á lo largo del camino que conduce á las minas de Aranzazú. El camino de Aranzazú á Mazapil. Visita de las minas y de las labores superficiales de Aranzazú; visita de la mina Cabrestante. Excursión á la Loma Pachona y al Cerro de la Cruz desde el Noreste.

1 Estas condiciones muy interesantes han sido ilustradas por Burckhardt con planos y un gran número de cortes; los participantes de la excursión del Norte tuvieron la ocasión de conocerlas bajo su dirección. Véase también Philippi: Ueber junge Intrusionen in Mexiko und ihre Beziehungen zur Tektonik der durchbrochenen Schichtgesteine, nach den Forschungen von E. Böse und C. Burckhardt. *Centralbl. f. Min.*, etc., 1907, 449-460.

CRETACICO	Cretácico superior	Pizarra con *Inoceramus*.	Pizarras y calizas, 150 á 200 metros.	Turoniano.
	Cretácico medio	b) Calizas con gastrópodos. a) Calizas con amonitas desenrolladas.	Calizas grises con pedernal negro, 400 á 500 metros.	Cretácico medio.
	Cretácico inferior	Capas con *Parahoplites*.	Margas amarillentas, calizas grises, algunos metros de espesor.	Capas limítrofes entre el Aptiano y el Gault
		Holcodiscus sp	Calizas grises con grandes nódulos de pedernal, calizas azules, 400 á 500 metros.	Cretácico inferior.
		Capas con *Holcostephanus*.	Margas amarillentas con nódulos de óxido de fierro, calizas grises ó azuladas, algunos metros de espesor.	Valanginiano.
JURASICO SUPERIOR	Portlandiano		Calizas blanquizcas margosas con pedernal, 10 metros.	Base del Berriasiano Portlandiano superior.
		a) Banco con *Cucullaea*. b) Calizas fosforíticas con *Perisphinctes*. a) Calizas con bivalvos.	Calizas fosforíticas y calizas grises, muy silicosas; calizas negras, 5 á 6 metros.	Portlandiano superior ó inferior.
			Calizas rojizas fosforíticas, 1 á 2 metros.	Base del Portlandiano.
	Kimeridgiano	Arcillas con *Waagenia*	Arcillas apizarradas muy ferruginosas, ordinariamente parduscas, 10 á 80 metros	Kimeridgiano más alto.
		Capas con *Haploceras Fialar*.	Calizas compactas, negras, un metro.	Kimeridgiano superior.
		Banco con *Aucella*.	Calizas apizarradas, poco fosforíticas, parduscas.	Kimeridgiano superior.
		Capas con *Idoceras*.	Arcillas y margas apizarradas con nódulos y riñones de calizas, compacta negra, 15 á 30 metros.	Capas limítrofes entre el Kimeridgiano superior é inferior.
		Calizas con *Nerineas*.	Masas de caliza, muy poderosas, con intercalaciones de margas con bivalvos y bancos de corales. En el techo un banco negro ó rojizo con *Trigonia*.	

Aquí donde ni prados, ni bosques ni arbustos ocultan al suelo rocalloso, donde falta toda tierra vegetal, y casi toda acumulación de barro por ser los sedimentos pobres en arcilla, y en donde los cerros están revestidos de arriba hasta abajo sólo por grupos de agaves, cácteas bajas y por un chaparral variado, se puede llegar á conclusiones sobre la tectónica de la región, fijándose únicamente en la configuración del terreno, en la clase de la vegetación, en la coloración variada de las capas y su resistencia respecto á la alteración por la atmósfera. Pero los estudios estratigráficos de Burckhardt muestran que al carácter alpino de las montañas calcáreas de Concepción corresponde una tectónica interior tan grandiosa como se suele ver en los Alpes. Mientras que del otro lado de la masa eruptiva, en el camino de Aranzazú á Mazapil, las capas sólo demuestran un fuerte levantamiento, al Este y al Norte del macizo eruptivo, se encuentran invertidas.

El plano y los cortes de Burckhardt demuestran que los depósitos cretácicos y jurásicos de los alrededores de Concepción pertenecen á dos regiones tectónicas, diferentes por su posición y separadas por una falla principal. Una región interior con capas fuertemente inclinadas en forma de cuña obtusa está circundada al Norte, Sur y Este por una zona exterior cuyas capas están menos inclinadas y en gran parte casi horizontales, pero también invertidas; por ejemplo, en el Cerro de los Tajos se encuentra la caliza con Nerineas en posición horizontal sobre el Kimeridgiano, el Portlandiano y las calizas cretácicas.

Fácilmente se reconoce la dislocación principal: se nota ya en las pendientes abruptas al Este del Cerro del Temeroso y del Cerro del Milagro y aparece con claridad en la cercanía inmediata de Concepción. En el block interior en forma de cuña, fuertemente levantado, es menor el ancho de las bandas de formaciones, y la diferencia en la dureza y alterabilidad de la roca, ayudada en segunda línea por el metamorfismo de contacto, produce cierta variación en el aspecto del paisaje, propia de las formas alpinas de la cima calcárea del Cerro del Temeroso (2,928 metros) en el Noroeste, y del hermoso peñasco del Picacho del Abra (2,734 metros). (Véanse las láminas). Las lomas anchas cerca de Concepción situadas al otro lado de la gran falla principal, en la subida al Cerro de los Tajos, forman contraste con estos cerros. En la base de la vertiente Sur, entre el cañón del Almagre y la cima de caliza cretácica del cerro de la Cruz, se observa un grupo de pequeñas colinas calcáreas, por ejemplo, la Piedra Cargada, de la cual hablaremos más adelante varias veces, cuyas capas fuertemente inclinadas se distinguen claramente de la estratificación horizontal en el acantilado que se levanta inmediatamente detrás de ella. Un contraste parecido se observa en el cañón del Almagre en ambos lados de la dislocación, que aquí da vuelta hacia el Sur.

Burckhardt no indica en su plano el curso de esta dislocación principal en el fondo del valle cubierto en lo general por aluviones. Este autor observó al Sureste de la ciudad una falla hasta el otro lado del Cerro de la

Cruz y no me parece inverosímil que ésta continúe todavía más, aunque no se pueda considerarla como un factor tectónico esencial. La dirección de la dislocación como la observó Burckhardt, está marcada claramente por una serie de catas de mineral plumbífero entre el Cañón del Almagre y el Cerro de la Cruz. Una de ellas se encuentra en la Carta bajo el nombre de "Los Diamantes" y otra, que ha producido un poco de baritina, se halla en el Cerro de la Cruz; otras en las cuales encontré willemita, cerusita y pyromorfita, se encuentran en la bajada al Noreste del cerro. Probablemente todas pertenecen á la misma zona de dislocación.

Uno de los fenómenos más notables en la Sierra de Concepción, cuya importancia fué ya discutida por Burckhardt y que también en su plano se expresa claramente, es la relación entre la tectónica de la montaña sedimentaria y de la masa eruptiva. No cabe duda que la línea arqueada de la dislocación principal muestra un paralelismo con esta última. Que la roca intrusiva con su capote sedimentario formaron una sola masa en su conexión primitiva durante la dislocación, lo comprueba el curso bastante regular de la zona de contacto. También el límite de ella demuestra un paralelismo claro con la gran dislocación en cuanto ésta ha podido observarse.

La explicación teórica de los hechos descritos aquí, la intentó Burckhardt de la manera siguiente (véanse sus cortes). Según él el Mesozoico formó un enorme pliegue invertido de tal manera, que el flanco medio tuvo que tomar una posición más ó menos horizontal con inversión de las capas, como lo demuestra el Cerro de los Tajos.

Más tarde la erupción de la granodiorita impulsó hacia arriba á lo largo de la falla principal las capas más profundas y más inclinadas del sinclinical, es decir, la inflexión hacia abajo de aquel flanco medio.

El flanco Suroeste del anticlinal invertido se conservó en parte en las capas mesozoicas fuertemente inclinadas en el camino de Aranzazú al Valle de Mazapil, pero fué completamente destruído por la erosión en otras partes. En su explicación Burckhardt atribuye al magma una fuerza elevadora activa, cuya posibilidad no negará ninguno de los que durante la excursión al Norte, bajo la dirección de Böse, vieron las condiciones verdaderamente maravillosas del Cerro de Muleros.[1]

LA MASA GRANODIORITICA

Sus condiciones geológicas y sus propiedades petrográfico-químicas

La roca que perfora los depósitos jurásicos y cretácicos, en las inmediaciones de Concepción del Oro, se debe designar en lo general como un macizo granodiorítico. Se compone de la gran masa principal, que forma la

1 E. Böse. Excursion au Cerro de Muleros, Guide des Excursions, etc., fasc. XX. Véase Philippi, l. c. p. 450–453.

parte occidental de la región, de varios diques más pequeños en las cercanías de la ciudad, y de inyecciones insignificantes que representan nuevas salidas de magma y atraviesan la masa principal. Ninguno de ellos forma, por lo que se puede ver en la actualidad, un yacimiento aislado é independiente, sino todos representan eslabones de una serie entera de intrusiones eruptivas, como los que Burckhardt observó también en otros puntos cercanos en el mesozoico más al Oeste en la Sierra de la Caja y en la Sierra de Santa Rosa, situadas al Norte y al Sur de Mazapil. Estas rocas fueron determinadas por Rosenbusch como andesitas, dacitas, dioritas y sienitas é indicadas así en el plano publicado por Burckhardt. Particularmente interesante es la masa dacítica bastante extensa de "Las Parroquias," por haber sido impulsada hacia arriba á lo largo del flanco medio de un pliegue. El macizo cercano eruptivo del Cerro Colorado, inmediato á Santa Rosa, está rodeado por criaderos metalíferos y yacimientos de turquesa.[1] Estudios ulteriores más exactos tendrán que determinar las relaciones químicas de todas estas rocas probablemente de parentesco regional.

No dispuse de tiempo suficiente para estudiar los diques algo más lejanos de la región de Concepción y mucho menos los macizos más alejados.

Por sus condiciones geológicas y por su carácter petrográfico, la roca de Concepción debe considerarse como abismal. Seguramente se formaron los afloramientos existentes por la erosión. Con esto no niego de ninguna manera la posibilidad que primitivamente haya tenido lugar una efusión superficial de roca eruptiva, cuyas raíces y partes profundas podrían haber formado la roca intrusiva actual. Para probar lo contrario se podría alegar que en una distancia de varios centenares de metros del límite de contacto, se encuentran grandes blocks de mármoles metamorfizados por contacto que pueden considerarse como restos de la cubierta sedimentaria antigua. Por razones expuestas más adelante, tal vez pueden interpretarse también como inclusiones primitivamente envueltas por la masa eruptiva. La designación de lacolita no conviene á esta masa, porque aquí como en otros casos donde fué empleado este nombre, no se puede probar que la granodiorita fué inyectada entre las capas.

Su bajo es desconocido y la masa tendrá que llamarse simplemente un macizo ígneo (Stock).

La composición mineralógica de la roca de Concepción, en cuanto no está alterada por adición de materia en el contacto con las calizas jurásicas y cretácicas, varía en los detalles entre la de rocas aplíticas de cuarzo y ortoclasa, y mezclas dioríticas obscuras de bastante pyroxena, mica y hornblenda con plagioclasas diferentes pero casi libres de cuarzo. Observé aplitas como *Schlieren*[2] de inyección dentro del macizo, las variedades más obs-

1 Véase el análisis más adelante.

2 Estructura brechoide propia de las rocas eruptivas, que muestran blocks ó fragmentos (Schlieren) diferentes de la masa de la roca por su estructura, su composición mineralógica ó química, pero que pasan de unos á otros insensiblemente.

curas de la roca como facies marginal y como concreciones ó "Schlieren" en la masa principal. Esta última no tiene tampoco un carácter uniforme, en lo general es una granodiorita porfiroide, gris clara ó verde clara, rica en fenocristales de plagioclasa, que pueden alcanzar hasta un centímetro de tamaño. La plagioclasa predomina, el cuarzo y la ortoclasa abundan casi siempre en la roca de la masa principal; entre los silicatos obscuros se observa casi siempre la biotita así como pyroxena y con menos frecuencia hornblenda. El macizo granodiorítico no es homogéneo químicamente y sin duda hubo disposición á la diferenciación; sin embargo, cerca de Concepción no he encontrado rocas de carácter básico extremo. Hasta las rocas más básicas de la facies marginal, que según mis muestras siempre se distinguen por fenocristales porfíricos de feldespato como la roca principal, pero son más obscuros y de grano más fino, deben considerarse aún como dioritas.

Ninguna diferencia petrográfica profunda existe entre la masa principal en el interior del macizo y la roca periférica. Ciertas particularidades eventuales de las últimas se mencionarán en la descripción microscópica al tratar de los fenómenos endógenos de contacto.

De las localidades siguientes he estudiado y determinado microscópicamente las rocas eruptivas; las granodioritas y dioritas 1–11 provienen del macizo principal y en parte de la zona interior (rocas principales) ó de la cercanía del contacto (facies marginal). Todas son porfiroides.

1. Fundición vieja. Roca principal de grano mediano. Granodiorita de mica y pyroxena con ortoclasa, bastante rica en cuarzo, sin hornblenda (Análisis).

2. Fundición vieja. Roca principal de grano mediano con bastante cuarzo y ortoclasa. Granodiorita de hornblenda y biotita con pyroxena. Contiene una inclusión de grano fino de semejante composición con grandes fonocristales de plagioclasa.

3. Del nuevo socavón principal, al Oeste de Concepción, de una longitud de 30 metros en aquella época. Roca principal de grano mediano. Granodiorita de hornblenda y biotita, rica en cuarzo y ortoclasa.

4. También del socavón principal. Roca principal de grano mediano. Granodiorita micácea de grano mediano y rica en cuarzo y ortoclasa. Al microscopio se observa una formación nueva insignificante de espato calizo y epidote; el feldespato un poco kaolinizado. La roca contiene poca pyrita secundaria y escasa cantidad de cuarzo en las grietas finísimas reconocible en la lámina microscópica (Análisis).

5. El panino del bajo del criadero de chalcopyrita y magnetita en contacto con mármol cerca de Promontorio. Granodiorita micácea de grano mediano, rica en cuarzo y ortoclasa y con un poco de diopsida.

6. Puerto del Arco. Roca marginal á distancia de pocos metros del contacto. Roca de grano bastante fino en la cual partes ricas en mica forman "Schlieren" mientras que otras contienen casi exclusivamente pyroxena y

hornblenda. Contiene mucha titanita, bastante cuarzo y está impregnada desde grietitas con un poco de chalcopyrita y pyrita. Granodiorita micácea de hornblenda y pyroxena con indicación de una estructura granofírica (Análisis).

7. Puerto del Arco. Roca marginal cerca del contacto. Granodiorita de pyroxena, de grano fino, pobre en mica, con mucho cuarzo y ortoclasa.

8. Puerto del Arco. Inmediatamente al contacto. Diorita de pyroxena y mica de grano fino, con cuarzo.

9. Valle del Arco. Concreción obscura de grano fino, en una roca de la facies marginal. Diorita de hornblenda y mica casi sin cuarzo y pobre en ortoclasa.

10. En el camino de Aranzazú casi enfrente del socavón principal, en el serpenteo del camino. Cerca del contacto, roca marginal. Granodiorita micácea de hornblenda, de grano bastante fino con estructura granofiroide evidente.

11. Un poco más arriba en la localidad rica en vesuviana, antes de llegar al pequeño salto de agua. Diorita micácea de pyroxena, pobre en cuarzo con poca ortoclasa relativamente.

A causa de sus transformaciones ó por su riqueza en inclusiones tendrán que discutirse:

12. Roca marginal, en parte transformada en epidote en el camino de Aranzazú, cerca de la localidad rica en vesuviana (véase arriba). Granodiorita de pyroxena, pobre en mica con pasta fundamental gronofírica.

13. De la misma localidad. Roca marginal en su mayor parte transformada en cuarzo, epidote y uralita formando apófisis en la zona de la vesuviana.

14. En la misma localidad. Inyección en una roca de contacto que se compone de espato calizo azul, vesuviana, granate y diopsida. Diorita de pyroxena, muy rica en segregaciones de granate, pobre en mica, casi sin cuarzo, con segregaciones de una plagioclasa fibrosa.

15. Boca del dique de la Piedra Cargada, felsítica y clara, casi incolora. Roca de diopsida y plagioclasa, con granate, y según parece, alterada también por aumento de caliza, sin cuarzo y probablemente con un poco de ortoclasa.

De los afloramientos en forma de diques en la masa principal fueron estudiados:

16. Dique en la granodiorita debajo de la mina Promontorio. Aplita de grano bastante fino, con poca plagioclasa, por lo demás, componiéndose de una mezcla perfecta granofírica de cuarzo y ortoclasa.

17. Inyección en forma de dique como los que atraviesan en gran número con una potencia de unos cuantos centímetros en diferentes direcciones y á poca distancia uno del otro, la granodiorita micácea cerca de Hernández, en la vecindad de la Fundición vieja. Granodiorita de pyroxena de grano bastante fino, rica en ortoclasa y cuarzo, con contenido muy variable de mica y con muchas segregaciones de apatita y titanita.

Para completar estas noticias añado también las determinaciones de Rosenbusch y P. Waitz, reproduciendo literalmente el capítulo respectivo del trabajo de Burckhardt.

Determinaciones de Rosenbusch.

Muestra 1.—De la margen oriental de la masa; camino entre Concepción del Oro y El Cobre (Aranzazú). Láminas relativamente grandes de plagioclasa, cuyos núcleos representan la mezcla Ab 40 An 60, están limitadas de andesina Ab 63 An 37, siguiendo de nuevo zonas de labradorita y andesina. Estos feldespatos y cristales columnares más grandes de diopsida, se hallan en una mezcla de grano fino de labradorita ácida, granos de diopsida, un poco de ortoclasa y magnetita. Se encontró aislada una pequeña inclusión de roca granatífera que provino probablemente de una inclusión de caliza. La roca es una diorita porfiroide de augita.

Muestra 2.—De la misma localidad que la muestra 1.

Esta muestra difiere de la anterior por su mayor contenido de ortoclasa y una pequeña cantidad de hornblenda verde-pardusca y un poco de cuarzo; sin embargo puede considerarse como idéntica con la primera. La alteración de las plagioclasas no permite hacer una determinación más exacta. Entre la primera lámina microscópica y la segunda, hay poco más ó menos la relación que entre las muestras 1 y 2 del Cajón de San José, Mazapil.

Muestra 3.—Al Oriente de El Cobre. Esta muestra ya no se puede determinar, pero seguramente fué en su origen una porfirita sin cuarzo, probablemente de estructura pilotaxítica.

Muestra 4.—De Aranzazú. Esta muestra es una diorita de cuarzo con labradoritas más grandes en una mezcla de grano fino de plagioclasa, cuarzo, un poco de ortoclasa, titanita y mena. El componente obscuro y muy escaso es una amfíbola verde-clara.

Muestra 5.—De Aranzazú. La muestra es una porfirita diorítica de cuarzo, muy pobre en componentes obscuros, con fenocristales de andesina.

Muestra 6.—De Aranzazú. La muestra es diorita porfirítica. En una pasta fundamental de grano muy fino, que ya no se puede determinar exactamente, se hallan muchos fenocristales de amfíbola casi incolora. Ningunos fenocristales de feldespato. Muy descompuesta. Mucha calcita.

Muestra 7.—De Aranzazú. Es una diorita micácea de cuarzo. En una mezcla de grano fino de labradorita y cuarzo se hallan labradorita ácida, biotita y cuarzo. La estructura porfírica no está muy marcada.

Determinaciones de Waitz.

Algunas rocas que se encuentran en forma de afloramientos aislados en forma de dique al Este de la masa principal y seguramente en conexión con ésta.

San Ignacio. Tiene la misma composición mineralógica que la masa principal, pero predomina más la augita, mientras que hay menos cuarzo. La estructura es netamente porfírica.

Loma al Poniente de Concepción del Oro (afloramiento en forma de dique). La misma roca que la muestra de San Ignacio.

Al pie oriental del Cerro del Banco, al Noroeste de San Ignacio (afloramiento aislado). También en esta roca netamente porfírica predomina la misma composición mineralógica. La augita descompuesta no es tan predominante como en la roca de San Ignacio, sino que predomina algo más el cuarzo. Biotita escasa como en la roca de San Ignacio.

Muestra del Cerro Pitacoche (afloramiento aislado en forma de dique). Roca porfírica, un poco diferente de las ya mencionadas. Desarrollo simultáneo de fenocristales de ortoclasa y de cuarzo (Quartz vermiculé). Feldespato de la pasta fundamental en varillas y en granos irregulares ligados por una base microfelsítica.

De las rocas arriba enumeradas y microscópicamente determinadas, los números 1 (granodiorita micácea de pyroxena) y 4 (granodiorita micácea) de la zona interior de la masa principal, número 6 (granodiorita micácea de hornblenda y pyroxena de la zona marginal), fueron analizadas por el señor Profesor Dr. M. Dittrich, de Heidelberg. Para el análisis de la número 6 se empleó material de las partes de la muestra, que contienen mucha hornblenda de grano fino y menos biotita. Al lado de las cifras encontradas se han colocado las cifras calculadas para las substancias anhidras (Iª IVª y VIª). (Véase el análisis adjunto).

	I	Iª	IV	IVª		VI	VIª
SiO_2	61,52	61,62	65,62	66,86		59,50	60,23
TiO_2	0,78	0,78	0,66	0,67		1,01	1,03
Al_2O_3	16,00	16,03	15,33	15,62		14,78	14,96
Fe_2O_3	2,93	2,93	2,39	2,44		1,93	1,95
FeO	2,05	2,05	1,46	1,49		1,23	1,25
MnO	......	.....	......	......		Huellas	Huellas
MgO	2,03	2,03	1,56	1,59		3,09	3,13
CaO	6,72	6,73	3,40	3,46		7,87	7,97
SrO	0,11	0,11	0,05	0,05		0,05	0,05
BaO	......	......	......	......		......	......
Na_2O	3,09	3,10	2,88	2,93		4,44	4,50
K_2O	3,83	3,84	3,78	3,85		3,95	4,00
Li_2O	......	......	0,03	0,03		......	......
P_2O_5	0,45	0,45	0,36	0,37		0,89	0,90
CO_2	0,45	0,45	0,24	0,24		0,18	0,18
H_2O	0,16	......	1,85	......	menos 110° más 110°	0,39 0,84	......
S	Huellas	......	0,55	0,56		......	......
	100,12	100,12	100,16	100,16		100,15	100,15
	Se deduce O para S		0,27	0,27			
			99,89	99,89			

Los análisis demuestran que las rocas que contienen mucha mica son más ácidas que las ricas en pyroxena y que las rocas marginales escogidas arbitrariamente, son de carácter más básico.

En el cuadro siguiente los análisis están reducidos á proporciones moleculares, y al lado de éstas en por cientos. No fué tomado en cuenta el contenido de agua y el Fe_2O_3 fué considerado como 2 FeO.

	I		IV		VI	
SiO_2	1,0202	66,80	1,1067	72,14	0,9972	64,77
TiO_2	0,0097	0,64	0,0084	0,55	0,0126	0,83
Al_2O_3	0,1568	10,27	0,1528	9,96	0,1464	9,51
FeO	0,0652	4,27	0,0502	3,27	0,0417	2,71
MgO	0,0503	3,29	0,0394	2,56	0,0775	5,03
CaO	0,1200	7,85	0,0617	4,02	0,1421	9,23
SrO	0,0011	0,07	0,0005	0,03	0,0005	0,03
Na_2O	0,0499	3,27	0,0472	3,08	0,0723	4.69
K_2O	0,0407	2,66	0,0408	2,66	0,0425	2,76
Li_2O	....	....	0,0010	0,06	....	....
P_2O_5	0,0032	0,21	0,0026	0,17	0,0063	0,41
CO_2	0,0102	0,67	0,0056	0,36	0,0004	0,03
S	....	....	0,0174	1,14	....	....
	1,5273	100,00	1,5343	100,00	1,5395	100.00

De esto resulta según el método de Osann:

	s	A	C	F	a	c	f	n	m	Serie
I	67,44	5,93	4,34	11,14	5,5	4,0	10,5	5,5	6,8	γ
IV	72,69	5,80	4,05	5,83	7,5	5,0	7,5	5,3	10,0[1]	γ
VI	65,60	7,45	2,06	14,94	6,0	1,5	12,5	6,2	5,2	β

Las tres rocas analizadas ocupan en el sistema de Osann[2] los siguientes lugares: I. Corresponde al tipo de la granodiorita de Brush–Creek (s 68,5 a 5,5 c 4,5 f 10); IV está entre Dypvik (s 72 a 7, c 5, f 8) y Silver Wreath (s 73, a 7,5 c 6, f 6,5); VI encuentra su lugar al lado de la diorita Ascutney II (s 66, a 7, c 3,5, f 9,5) comparándolo con los análisis comunicados por Osann, llama la atención el valor bajo para m, en I y VI, correspondiendo á un contenido muy alto de cal.

Entre las rocas estudiadas en detalle, tanto de la zona interior como de la marginal, existen tantas diferencias en composición mineralógica y estructura, diferencias no muy importantes por cierto, que probablemente ningunas de las láminas estudiadas es igual á otra de la misma roca.

A esta variabilidad mineralógica debe corresponder indudablemente

1 El contenido de cal de esta roca con relación á la cantidad de biotita, es menor que en las otras dos. No corresponde completamente á la ecuación $A + C = Al_2O_3$; porque $A + C = 9.85$, $Al_2O_3 = 9.96$. Esta diferencia depende quizá del grado de la exactitud del análisis y de que el feldespato de la roca está un poco kaolinizado.

2 Versuch einer chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine. Ueber die Definition von Diorit un Gabro. *Tscherm. Min. petr. Mitt.* 22, 1903, especialmente p. 432–433.

una variabilidad de la composición química, como se puede ver en los análisis dados antes.

Rocas más básicas y otras bastante ácidas, especialmente con un contenido de cal y fierro muy variable, participan en la composición de la zona interior y marginal. En vista de esta falta de homogeneidad del magma, llama la atención la ausencia aparente de lamprofiros verdaderos y de productos muy básicos de diferenciación. Tampoco he encontrado una roca que pudiera designar con certeza como porfirita. También á las rocas de la zona marginal, en cuanto demuestran diferencias reconocibles de estructura en comparación con la roca principal de la zona interior, falta la pasta fundamental característica de porfiritas, con idiomorfía pronunciada de sus componentes, aunque esta puede estar indicada á veces más claramente que en las rocas de la zona interior. Estructura fluidal no se observa en ninguna parte. No puedo negar la posibilidad que ciertas inclusiones en los feldespatos y pyroxenas sean vidrio. Pero es seguro que no hay vidrio ni en el cuarzo, ni en la pasta fundamental y por lo menos al fin de la consolidación las rocas están completamente cristalizadas.

Con la distinción de una zona interior y marginal del macizo no queremos decir, que cerca de Concepción, una masa que se designa como roca principal y normal, esté rodeada por todas partes de una zona de diferenciación periférica. Al contrario, parece que se encuentra muchas veces inmediatamente del contacto una roca que no difiere esencialmente de las rocas de la zona interior en cuanto á su estructura, composición mineralógica y color. Según mis experiencias se pueden observar mejor las rocas marginales especialmente en el camino de Aranzazú. Allí se distingue frecuentemente por su estado fresco; el ancho de la zona marginal puede alcanzar en casos excepcionales algunos decámetros, pero es generalmente muy pequeño. Las rocas de la zona interior están por lo general muy alteradas y principalmente sus componentes obscuros están muchas veces descompuestos de modo que llegan á ser indeterminables. Esto sucede naturalmente sobre todo en las rocas que se encuentran cerca de los criaderos cargados de sulfato y ácido sulfúrico.

El estudio microscópico muestra que la plagioclasa forma el elemento predominante de la roca. Forma fenocristales idiomorfos hasta de un centímetro de largo en una pasta fundamental completamente cristalina y de grano más ó menos fino, que se compone de plagioclasas idiomórficas de individuos idiomórficos hasta hipidiomórficos de hornblenda ó pyroxena, ó biotita, ó de dos, mas raras veces de los tres de estos silicatos, con una mezcla de ortoclasa y cuarzo. Estas son las segregaciones últimas y ligadas de una estructura semejante á la microgránítica, pero la ortoclasa demuestra generalmente mayor tendencia á la idiomorfía que el cuarzo. Sin embargo no hay ninguna diferencia notable de edad entre estos dos minerales. Estructura granofírica se observa sólo excepcionalmente en la pasta fundamental de las rocas principales, con más frecuencia en la de las rocas

marginales. Fierro titanado (ilmenita, magnetita, titanita, jergón y apatita, se presentan en cantidades variables). En su ocasión hablaremos de componentes secundarios.

La plagioclasa se observa en placas gruesas según M. Gemelos según la ley de Karlsbad son frecuentes. En un gemelo aislado observé P, x, M, T y l. Maclas múltiples según la ley de la Periclina se encuentran también con frecuencia. Las plagioclasas se acumulan en grupos hasta de un centímetro de diámetro compuestos de numerosos individuos.

La solidificación de plagioclasa comenzó después de la segregación de los metales accesorios más antiguos, etc., y aparentemente antes de la de los silicatos obscuros; seguramente se hizo al principio con mucha más rapidez que la de los últimos, porque estos se encuentran solamente en la forma de microlitos ó de muy pequeños individuos, como inclusiones en la plagioclasa. Por lo demás no hay gran diferencia de edad entre la plagioclasa y la mica, la hornblenda y la pyroxena; la segregación de la plagioclasa continuó durante toda la consolidación de la roca, lo que comprueba el hecho de que las zonas superficiales ácidas del mineral (que se sobreponen una sobre otra con poca precisión), todavía toman parte en la formación de la mezcla eutéctica de cuarzo y feldespato. A veces algunos individuos contienen muchos gránulos de fierro esparcidos y de vez en cuando se encuentra una acumulación compacta de microlitas de los otros silicatos dentro de determinadas zonas de crecimiento. Muy frecuentes son unas cavidades alargadas, arredondadas, tubiformes y á menudo ramificadas, en cuya pared muchas veces se observa una reflexión total y que probablemente contendrán gas. Inclusiones aisladas de líquidos con burbuja móvil se pueden distinguir con seguridad en la plagioclasa. Todos los feldespatos encierran partículas mínimas pardas de naturaleza indeterminable; no se puede probar la existencia de inclusiones de vidrio. Los fenocristales grandes de plagioclasa son relativamente pobres en inclusiones.

La estructura zonal muy frecuente revela, que durante el crecimiento en la zona del eje b, se ha desarrollado mayor número de caras. La estructura zonal se nota claramente, no sólo en la doble refracción sino también en la refracción de la luz. Ordinariamente es perceptible, ya en el núcleo, un repetido cambio entre zonas básicas y las que son un poco más ácidas, pero las diferencias en el ángulo de extinción son aquí de pocos grados; la zona periférica consiste al contrario de una plagioclasa mucho más ácida que forma alrededor del núcleo un borde muchas veces delgado con extinción ondulada entre nicols cruzados. También los núcleos de la plagioclasa poseen muchas veces un contorno ondulado que se puede tomar por una consecuencia de una reabsorción temporal. De numerosas observaciones sobre ángulos de extinción que se han hecho en los cortes de la zona simétrica de maclas múltiples y de gemelos de Karlsbad, resulta como proporción de mezcla, para el núcleo de las plagioclasas, el labrador $Ab_1\ An_1$: solamente en raros casos se observan mezclas más básicas. Un corte $\perp \mathfrak{c}$ tuvo como án-

gulo de extinción respecto al plano de contacto de los gemelos 15°. En el límite entre la zona exterior ácida de la plagioclasa y de la ortoclasa, la primera es siempre más refringente que la segunda; en el contacto con cuarzo su refracción es aproximadamente igual á la de este último. La plagioclasa del dique (Nº 17, p. 10), de Hernández, se quebró en parte durante la consolidación de la roca; los fragmentos se cementaron de nuevo por la plagioclasa de la zona marginal más ácida. Tales fenocristales están atravesados por vetillas de plagioclasa que tienen una extinción simultánea con la última. Generalmente las zonas marginales de crecimiento tienen la composición aproximada de una andesina $Ab_6 An_4$, pero seguramente se trata en parte de mezclas un poco más ácidas aún.

La línea de contacto entre la superficie de la plagioclasa y del cuarzo, es frecuentemente ondulada é irregular, y los cortes del feldespato están entonces menos claramente limitados paralelos á la laminación de gemelos, que verticalmente á ella. El tamaño de las plagioclasas es algunas veces más pequeño que $0.^{mm}06$ de diámetro. En varias láminas microscópicas se observan numerosos individuos pequeños, anchos y de contornos no muy marcados que á veces tienen el mismo ángulo grande de extinción en el núcleo y la misma zona periférica ácida que los fenocristales grandes; sin embargo en algunas rocas estos pequeños feldespatos de la pasta fundamental parecen ser andesina sola. Su formación, como la de las zonas ácidas, es más ó menos simultánea de la plagioclasa, con la fase del eutéctico de cuarzo–ortoclasa; pero se distinguen de estos dos minerales siempre por su mayor tendencia á la idiomorfía.

La plagioclasa está generalmente bastante fresca y en parte sin indicios de una descomposición; y en este sentido se distingue con frecuencia de la ortoclasa más ó menos kaolinizada. Más adelante hablaremos de su transformación en epidote. Junto con el kaolín se encuentra también espato calizo como producto de la descomposición de la plagioclasa.

El feldespato de potasio parece encontrarse solamente en forma de ortoclasa. Esta no forma nunca fenocristales antiguos, sino es siempre sólo un componente de la pasta fundamental y está íntimamente ligado en ésta con más ó menos cuarzo. Como elemento de la pasta fundamental raras veces tiene dimensiones mayores. No se puede fijar un límite de edad entre los dos minerales. La estructura granofírica que se observa principalmente en rocas de la zona marginal, indica que la solución madre del magma se consolidó eutécticamente. La ortoclasa no falta en ninguna lámina microscópica y forma un componente esencial de la roca, lo que se ve también en los análisis. Así como la plagioclasa también la ortoclasa encierra cavidades de forma irregular. Estas se ordenan en series, principalmente en las ortoclasas de varias rocas marginales, y estas series en haces que frecuentemente están ordenados casi paralelos al eje c. No se pudo aclarar la naturaleza de estas inclusiones, las que añadidas á la mayor descomposición dan á las secciones de ortoclasa un aspecto más turbio que la plagioclasa.

Seguramente son isotrópicas y es posible que sean burbujas de gas. De la determinación del coeficiente de refracción de luz $\gtrless$ 1.55 resultó que el producto de descomposición semejante á mica es en efecto kaolín y no muscovita.

La cantidad de cuarzo está mucho más sometida á variaciones que la de la ortoclasa. A veces falta por completo, pero en lo general es un componente esencial. En mayor cantidad se encuentra el cuarzo en las variedades de rocas que son ricas en mica, mientras que en ciertas rocas de la zona marginal es donde escasea más. No siempre su solidificación significa solamente el fin de la consolidación de la roca; aislados se observan también claramente fenocristales de cuarzo mas antiguo, en parte en forma de cristales bipiramidales completos de algunos milímetros de diámetro. Así se observan granos de cuarzo en la roca marginal número 6 (véase p. 9) que están encerrados completamente en hornblenda, de manera que no cabe duda que su edad es mayor. Parece probable que tales fenocristales en parte fundidos en un lado sean inclusiones heterogéneas. El cuarzo es muy rico en inclusiones líquidas que atraviesan á veces el mineral juntándose á lo largo de caras encorvadas. Burbujas móviles son muy frecuentes: á su lado se observa en el líquido cristales de apariencia isotrópica, incoloros de forma cúbica ó en láminas y pequeños granos opacos. Como lo demostró un experimento, no desaparecen las burbujas al calentar; por esto el líquido sólo en parte podría consistir en ácido carbónico. Además, en ciertos lugares del cuarzo aparecen esparcidas numerosas partículas pardas é indeterminables. El cuarzo es por lo demás pobre en inclusiones.

Entre los silicatos obscuros la biotita es la más frecuente, ya en el aspecto macroscópico de las rocas, aparece muchas veces como fenocristal porfírico en la forma de laminitas de crucero hexagonal ó de columnas. Su pleocroísmo es fuerte, la absorción $// \mathfrak{b}$ y $\mathfrak{c}$ fuerte, $\mathfrak{a}$ amarillo pardusco. La bisectriz $\mathfrak{a}$ está inclinada hacia OP imperceptiblemente; el ángulo de los ejes es pequeño. Entre la biotita y la hornblenda y la pyroxena no existe ninguna diferencia muy marcada de edad, pero siendo ellas ligadas entre sí, la biotita aparece preferentemente como el componente más antiguo. Se observa en láminas gruesas, hasta en forma de columnas y á veces también en forma de esqueleto de cristalización. Muchas veces la biotita se liga genéticamente con hornblenda que la envuelve ó que forma intercalaciones más ó menos delgadas, paralelas á la base de la mica. Frecuentemente se observa, que los cruceros de la hornblenda van paralelos con los de la biotita, pero esto no es regla. Lo mismo diremos en cuanto á la pyroxena. Un notable revestimiento de la mica por pyroxena se presenta macroscópicamente en una muestra de diorita micácea de pyroxena con cuarzo, encontrada en el contacto inmediato del Puerto del Arco (Nº 8, véase p. 10). Se observa en ella mucha biotita parda obscura en pequeñas varillas hexagonales; allí donde por alteración está aislada de la roca se encuentran naturalmente cavidades del tamaño correspondiente. El mineral está revestido

primeramente de una costra fina de plagioclasa y después de otra formada principalmente de pyroxena verde, de modo que todo en conjunto, presentándose con un ancho de pocos milímetros se parece, observado con la lente, á veces á una escarapela tricolor. Las cavidades que se formaron por la descomposición de la mica aparecen tapizadas con pyroxena. En la misma roca se observan también coronitas de pyroxena al rededor de plagioclasa. Laminitas de biotita y microlitas en forma de plaquitas alargadas del mineral aparecen como inclusiones en la plagioclasa y ésta por su parte atraviesa también la mica. Un contorno alotriomórfico de esta última con ortoclasa y cuarzo demuestra que su segregación ha continuado hasta en la última época de la consolidación del magma; nada nos indica que las combinaciones genéticas arriba mencionadas sean motivadas por una transformación. La biotita envuelve muy frecuentemente minerales negros de fierro, formando al rededor de ellos al parecer, á veces una costra delgada, jergón, apatita, titanita y un mineral prismático en forma de la red de sagenita, en cuyo centro se observa á veces un cristalito de jergón. Una transformación del mineral en clorita no es rara, así como en agregados incoloros, que al microscopio muestran estructura fibrosa y que tienen la refracción y doble refracción del mineral.

La hornblenda verde forma individuos bien definidos solamente en partes de la zona prismática; respecto á los otros componentes es alotriomórfica ó hipidiomórfica, algunas veces con formas profundamente onduladas ó en forma de esqueleto de cristalización. La intensidad del tinte cambia en la misma lámina microscópica y hasta en el mismo individuo. Su pleocroismo es el común $\mathfrak{a}$ pardo claro, $\mathfrak{b}$ verde pardusco, $\mathfrak{c}$ verde azulado, $\mathfrak{c} > \mathfrak{b} > \mathfrak{a}$.

El mayor ángulo de extinción observado era de 23°. Gemelos según $\infty P \infty$ son frecuentes. De los productos más antiguos de la primera consolidación, la titanita muestra sus relaciones conocidas con la hornblenda; muchas veces está envuelta por ella y ligada con ella.

La pyroxena es una diopsida ordinariamente verde clara, con pleocroismo casi imperceptible. El mayor ángulo de extinción medido era 43°. Nunca se observó pyroxena rómbica. La diopsida forma á veces el componente obscuro principal. Gemelos según $\infty P \infty$ son muy frecuentes. Respecto á sus relaciones de edad con los otros silicatos vale lo que hemos dicho de la biotita y amfíbola. Una vez fué observada una combinación genética paralela con amfíbola, en la cual los dos minerales mostraban los grandes ángulos de extinción de 43°, respectivamente 18° y cruceros paralelos; el plano de extinción es pues $\infty P \infty$. También observé una combinación con plagioclasa, donde los cruceros de la pyroxena estaban paralelos á la laminación de maclas de la plagioclasa.

Una variación notable presenta la pyroxena en algunos puntos del contacto del Puerto del Arco; este cambio pertenece tal vez á los fenómenos endógenos de contacto, pero ya lo mencionaremos aquí. Macroscópicamente se observa allí pyroxena verde azulada en vez de gris verde. En la lámi-

na aparecen muchos de estos individuos de un color verde claro, con manchas en formas de nubes y más ó menos de color verde de pasto; otros son enteramente de este color. En el primer caso la extinción será irregular porque con la intensidad del color se aumenta el ángulo de extinción algunos grados. El mayor ángulo observado $\mathfrak{c}:\mathfrak{c}$ fué de cerca de 45°; por esto se distingue bien este mineral de la amfíbola. El pleocroismo de las partes coloridas es muy pronunciado $\mathfrak{a}$ y $\mathfrak{b}$ verde acercándose á verde azulado, $\mathfrak{c}$ verde amarillento. Al lado de la pyroxena de color más vivo, se nota en la misma lámina también la común de un verde claro. Entonces aparece perfectamente en individuos mayores, mientras que los de color más vivo forman los pequeños fenocristales y granos.

En las inclusiones básicas ampliamente distribuídas (compárece p. 22) los silicatos obscuros están muchas veces íntimamente ligados entre sí con minerales metalíferos, apatita y titanita, ofreciendo de esta manera otras concreciones básicas mínimas dentro del agregado feldespático.

En las rocas hay comúnmente jergón, magnetita, ilmenita, titanita, apatita, pero su cantidad está parcialmente en cierta relación con las de uno ú otro silicato obscuro. Así se observan cristalitos de jergón con muchas caras con mucha frecuencia en las variedades de rocas ricas en cuarzo y biotita; los granitos y esqueletos de cristales de titanita verde-amarillento ó rojizo se encuentran á veces en gran cantidad en las muestras más básicas y ricas en amfíbola. La titanita forma frecuentemente costras sobre la ilmenita y la atraviesa, siendo en lo general más moderna que ésta. No podría darse una prueba de que la titanita se ha formado por transformación de la ilmenita. Una gran parte del mineral metalífero es magnetita, que en la lámina se conoce fácilmente por sus cristales octaédricos, que se pueden separar en cantidad considerable del polvo de la roca, por medio del imán. La apatita es aún más antigua que la ilmenita y la atraviesa; es abundante en las rocas ricas en amfíbola. Con frecuencia contiene las conocidas inclusiones en forma de polvo. El notable efecto de pleocroismo de estas inclusiones es correspondiente á los ejes de la elasticidad de la apatita $\mathfrak{a}$ pardo, $\mathfrak{c}$ azul obscuro, $\mathfrak{c} > \mathfrak{a}$ y por eso está en contraposición con el carácter negativo del mineral que las envuelve. No se puede determinar la naturaleza de estas inclusiones que forman nubes en la apatita. Aun con un aumento de 1,200 veces se manifiestan sólo en forma deun polvo más ó menos densamente acumulado. Los cristales microscópicos de la apatita tienen á veces una forma cristalográfica excelente ∞ P, P, OP aparentemente también 2P2.

Pyrita. Se halló en la roca número 4 rica en mica. Parece que allí se formó de magnetita. No se puede demostrar que no es de formación primaria, pero esto parece probable por estar la roca atravesada de grietitas capilares conteniendo pyrita.

Es dudosa la presencia de ortita, que creí haber observado en la granodiorita de amfíbola y biotita del Socavón principal (Nº 3).

Los "Schlieren" de inyección y diques

A los primeros pertenecen las aplitas. Estas se encuentran muchas veces en los depósitos en forma de diques que á veces tienen solamente pocos centímetros de espesor; una muestra de Promontorio consiste en una mezcla de grano fino de cuarzo y ortoclasa con estructura de granito gráfico, con plagioclasa en cantidad insignificante, poca magnetita y vestigios de un silicato obscuro, indeterminable por su descomposición.

En Hernández, cerca de la Fundición Vieja, se encuentran inyecciones poco potentes en forma de diques de una roca de estructura de grano bastante fino y de composición variable en la misma muestra; en una muestra se observan partes ricas en mica, otras ricas en pyroxena y entonces sin biotita. Los fenocristales de plagioclasa demuestran el carácter brechoide y la cementación nueva (mencionados en la p. 15).

De los diques eruptivos en la montaña calcárea, estudié detenidamente sólo el de la Piedra Cargada al Sur de Concepción. Demostrando aquella roca una metamorfosis de contacto endógena muy intensa, hablaremos de ella más adelante.

En la Loma Pachona, cerca de San Ignacio, encontré una roca porfírica muy alterada y atravesada por vetas de epidota. Esta roca atraviesa la caliza cretácica, y en su superficie se observaron todavía los moldes en forma de los fenocristales de cuarzo destruídos, y aparentemente también de feldespato; además contiene placas hexagonales y columnas de mica.

En la pasta fundamental de grano fino hay además de los minerales ya citados, plagioclasa en fenocristales de casi un centímetro de tamaño. Me parece que es una granodiorita micácea porfírica ó tal vez una porfirita micácea con cuarzo. Al otro lado del cerro de la Cruz descubrí, en extensión muy limitada, una roca porfírica clara muy alterada; esperando encontrar mejor material no recogí una muestra de este lugar.

Inclusiones en la Granodiorita

Encontré en la roca eruptiva inclusiones de dos clases: por una parte son masas de roca de granate, cuyo material primitivo serán sin duda fragmentos de caliza arrastrados por el magma, pero que deben su naturaleza actual á la adición de substancias nuevas por él (Enclaves polygènes, según Lacroix). Por otra parte son inclusiones de naturaleza eruptiva de la composición mineralógica del magma, pero de grano más fino y más cargadas de elementos obscuros, inclusiones que se llaman generalmente "Segregaciones básicas." (Enclaves homogènes plésiomorphes, según Lacroix).

Cerca de la Fundición Vieja encontré una inclusión que representa una roca de granate con ortoclasa (lám. VIII, fig. 4). En la superficie drúsica se observan cristales de granate pardo-rojizo, ∞O, $2O2$, y menos frecuentemente cristales mal formados, así como masas compactas de ortoclasa y aparentemente también un poco de plagioclasa fibrosa. La lámina microscópica de una de estas inclusiones muestra una notable combinación zonal de granate con ortoclasa en gran parte kaolinizada. Esta última aparece en laminitas paralelas, que imitan en forma de conchas el contorno dodecaédrico ó sustituye dentro del cristal de granate casi completamente la substancia de éste, dando así origen á una especie de perimorfosis. La ortoclasa demuestra en parte gemelos según la ley de Karlsbad. Cuarzo se encuentra solamente en cantidad insignificante. Como componentes se observan también epidota y minerales de fierro. No cabe duda que aquí se efectuó la reabsorción de un fragmento de caliza y que por la adición de fierro magmático y de substancias feldespáticas resultó una nueva cristalización de lo disuelto, tratándose pues en el sentido de Lacroix de una inclusión exo-poligénica.

En otra muestra de granate pardo y ligado con feldespato se observan fenocristales de amfíbola; ésta forma columnas fibrosas con OP no muy claro y pirámides lisas. La misma naturaleza tiene una roca parda de granate del Valle del Arco, íntimamente ligada con feldespato, y conteniendo cristales de granate de más de un centímetro de tamaño. También del Puerto del Arco provienen dos muestras de roca de granate, en cuyas cavidades se observan con la lente cristalitos de chabasita, además de desmina, epidota y feldespato. Este último según sus estrías parece ser por lo menos en parte plagioclasa.

Las inclusiones básicas obscuras no son raras en la masa principal eruptiva. Sin duda, no son fragmentos de una roca más antigua; tampoco son partes del mismo magma consolidadas anteriormente, porque no están netamente separadas de la masa principal. Su composición mineralógica corresponde á la de la roca que los envuelve; es decir, donde ésta por ejemplo contiene amfíbola ó pyroxena, estos silicatos se presentan también en la inclusión; donde la masa principal contiene mucha titanita, este mineral se encuentra también en cantidad considerable en la inclusión. Dentro de la roca normal estas inclusiones representan una acumulación, especialmente de segregaciones de primera consolidación, estando por eso ricos en minerales de fierro, titanita y apatita. Los silicatos obscuros forman en parte aglomeraciones en una especie de pasta de plagioclasa. No faltan los grandes fenocristales de plagioclasa ni los de biotita. En cantidad menor se encuentra cuarzo y ortoclasa en mis dos láminas microscópicas. Respecto á estas inclusiones se trata, pues, de concreciones en el magma que deben haberse formado por acumulaciones locales más compactas de los centros de cristalización.

Criaderos en la Granodiorita

Vetas de Turmalina

Al Oeste de la mina de fierro "El Carmen" encontré muchos fragmentos de vetas de turmalina. Su espesor tiene el ancho de un palmo. En su cercanía inmediata se encuentra sobre magnetita y minerales de cobre, una masa extensa de mármol metamorfizado por contacto, encontrándose por esto con ellas también blocks de magnetita. La turmalina (ω color de sepia ó azul de añil, ε pardo claro) forma masas de estructura fibrosa radial ligadas con cuarzo y atravesadas por este mineral. No se pudo probar la presencia de estaño; tampoco existieron en tiempo de mi visita indicios de una ley de oro de estas vetas, cosa que no sería imposible.

Segregaciones de cuarzo, ortoclasa, hematita y chalcopyrita

Así como las vetas de turmalina, también estos minerales deben haberse formado por pneumatolisis. En el camino de Cabrestante á la mina del Promontorio, encontré en la granodiorita segregaciones drúsicas angostas de hematita, cuarzo (R, — R, ∞R), un poco de granate verde pardusco junto con feldespato, que según su hábito cristalográfico y refracción, debe designarse como adularia, y un cristal aislado de chalcopyrita $\frac{\frac{1}{4}P}{2}, -\frac{4P}{2}$, transformado parcialmente en limonita por descomposición. El cuarzo está revestido de calcedonia estalactítica. La presencia del granate verde pardusco semejante al de los criaderos cercanos de contacto y seguramente un granate de fierro, cal y alúmina, comprueban que la reabsorción de un fragmento de caliza dió origen á la formación de dichos cristales. Realmente estas cavidades drúsicas demuestran en parte una forma angular muy marcada, que podría explicarse por la disolución de fragmentos de caliza.

La veta de cobre «El Placer» de Aranzazú y la transformación de la granodiorita en epidota y uralita

La única veta importante conocida en el macizo de la granodiorita cerca de Concepción, es la veta "El Placer" explotada cerca del contacto de Aranzazú en la granodiorita. Tiene una dirección más ó menos perpendicular al límite de contacto; fué cortada al otro lado por el socavón principal, siendo sin duda de formación más moderna que los criaderos de contacto.

El relleno de la veta demuestra una estructura maciza y consiste, según las muestras colectadas, en chalcopyrita, pyrita, bastante arsenopyrita, un poco de galena, cuarzo, un poco de litomarga y mucho espato calizo. En drusas se observan también esfenoides poco claros de chalcopyrita. Es no-

table la transformación del panino por agencias que produjeron la matriz. Esta roca se transformó en una masa quebradiza, verde sucia, con pyritas diseminadas, que al microscopio consiste en su mayor parte en amfíbola fibrosa y uralítica, con un poco de cuarzo y de espato calizo. Al lado de ella se reconoce un poco de epidota y gran cantidad de apatita con cristalitos de jergón y de titanita, sin duda de restos de la granodiorita. La estructura de la roca se ha borrado completamente. Sin embargo, con esto no terminó la transformación del panino. En otras muestras se nota que la uralita misma puede haber sido reemplazada casi completamente por menas, cuarzo, y sobre todo por espato calizo. Fragmentos de esta clase los encontré entre los otros metales; se distinguen por la coloración sucia de su espato calizo, pero demuestran por lo demás la misma estructura maciza y los mismos minerales que las otras muestras. Los agregados en parte radiales primitivamente formados de uralita se distinguen claramente con la lente; al microscopio aparecen como masas de espato calizo fibrosas, parduscas y turbias. Además se observa todavía la titanita y la apatita. La veta "El Placer" no es pues en parte otra cosa que una granodiorita muy alterada á lo largo de una grieta y sustituída metasomáticamente por combinaciones nuevas. Otra parte de las menas tiene el aspecto de un relleno de veta macizo común de galena pyritosa.

La formación de epidota, acompañada de la de cuarzo y también de uralita se observa con frecuencia y se tendrá que referir en menor escala á las mismas causas que la transformación del panino á lo largo de la veta "El Placer." La descripción siguiente se basa principalmente en una roca encontrada in situ en el camino de Aranzazú, cerca de la localidad de la vesuviana inmediata al salto de agua. (Nos. 12 y 13).

La transformación de la roca en epidota, etc., no es aquí seguramente un producto de alteración por la atmósfera; evidentemente tuvo lugar bajo la adición de substancia, á lo largo de grietitas finas, transformándose no solamente algunos de los componentes aislados, sino partes enteras de la roca en combinaciones nuevas. No he observado aquí pseudomorfosis verdaderas de la epidota según feldespato ú otro mineral; la forma de los agregados de epidota y de los individuos que los componen, no tiene nada que ver con la de los silicatos desaparecidos en parte ó completamente.

En lo general se trata solamente de una formación poco considerable de epidota en la plagioclasa. Sin duda tiene su origen en grietas y á menudo está acompañada por una impregnación de pyrita. En las mismas grietas se formó á veces también cuarzo, que como mineral más reciente, falta muchas veces. El depósito de la epidota en sistemas de grietitas en el feldespato produce á veces formas de esqueletos de la primera con una extinción uniforme. A veces se observa también que la formación de epidota, está limitada principalmente á un solo cristal macleado de plagioclasa.

En la localidad arriba indicada, partes enteras de la roca están sustituídas de cierta manera por epidota y en consecuencia muestran manchas

verdes ó aparecen uniformemente verdes en pequeños fragmentos siendo bastante ricas en pyrita. El feldespato está atravesado por grietitas numerosas y es muy turbio; está sustituído y atravesado por epidota verde amarillento, que forma individuos ó agregados en parte fibrosos, de límites irregulares, sin ser influenciados por la forma y los contornos de los granos feldespáticos. La diopsida ha sido reemplazada por haces fibrosos de uralita verde azulada; al lado de éstas que todavía muestran con bastante claridad la forma de los fenocristales de diopsida primaria, se observan en las partes más compactas de la epidota, haces poco compactas de amfíbola verde azulada, formando á veces una especie de fieltro, seguramente originado también por un cambio de moléculas de la substancia pyroxénica. Su pleocroismo es: 𝔞 verde olivo, 𝔟 verde pardusco, 𝔠 verde azulado obscuro; absorción $\mathfrak{c} > \mathfrak{b} > \mathfrak{a}$ contemporánea con la epidota en un mosaico de cuarzo; este es bastante rico en inclusiones líquidas, en las que se hallan al lado de una burbuja, á veces cristalitos en parte cúbicos. El cuarzo encierra restos de feldespato y haces de uralita. La titanita no ha sufrido ninguna transformación, y por esto se encuentra también en este mosaico de cuarzo. Todo este fenómeno se debe considerar como la consecuencia de un cambio molecular, bajo la influencia de agencias que adicionaron materias. No se puede hablar de una corrosión de la roca, á la cual hubieran sustituído otras sustancias; porque dentro de la última yacen en situ las pseudomorfosis de la uralita y las titanitas bien conservadas. Como materias añadidas han de considerarse cal y fierro. El origen de la cal no es dudoso principalmente en la cercanía inmediata del contacto; la adición del fierro está comprobada por la presencia de pyrita, y también probable por la coloración intensa de la epidota. Suponiendo que durante el proceso químico la cantidad de alúmina se haya quedado igual como en tantas otras transformaciones, y que la base ha sido una plagioclasa de la composición $An_1\,Ab_1$ entonces podría explicarse la formación de la epidota libre de fierro por el esquema siguiente:

$$2\,Na\,Al\,Si_3\,O_8 + 2\,Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8 + 2\,Ca\,O + H_2\,O =$$
$$2\,Ca_2\,Al_3\,Si_3\,O_{12}\,(O\,H) + 4\,Si\,O_2 + Na_2\,O.$$

De este modo resulta la precipitación de ácido silícico libre, que se quedó enteramente ó en parte como cuarzo, y la de sosa sobre cuyo paradero nada nos indica la lámina. Pero es posible que la chabasita de la cual hablaremos más adelante, esté en relación genética con el proceso descrito. En una lámina de una roca marginal impregnada de epidota de la localidad de la vesuvianita, el feldespato está atravesado por un mineral sólo reconocible por un aumento fuerte de menor refracción y doble refracción, lo considero como una zeolita (chabasita ?). Es un producto de transformación del feldespato, del cual se pudiera haber formado bajo la adición de ácido silícico y quizá también de sosa.

Mencionaremos todavía que el aspecto microscópico de la diorita transformada en parte en epidote, recuerda algunas pizarras de epidote de los Alpes.

En las rocas epidotíferas nunca se pudo comprobar una formación de kaolín de importancia, por lo cual se hubiera podido concluir que es un fenómeno acompañante de la formación de epidote. El kaolín es al contrario cerca de Concepción, siempre un producto más moderno de transformación.

La gran semejanza de estos fenómenos de transformación con los de á lo largo de la veta "El Placer," descrita arriba, no deja duda de que también ellos han de referirse á la influencia de substancias que subieron de un foco profundo después de la erupción y consolidación de la granodiorita.

Filones de cobre con turmalina cerca de Catarroyo

En la granodiorita micácea de la mina Catarroyo observé además de una impregnación fuerte de la roca con pyritas, filones de pyrita y chalcopyrita con feldespato, con ganga cuarzosa y turmalina parda. La presencia de este mineral puede considerarse como prueba segura para la conexión íntima entre estas formaciones de vetas y el magma granodiorítico más profundo. De estos criaderos insignificantes, cuyo espesor apenas llega á pocos milímetros, sólo una pequeña cantidad se encontró sobre el terrero de esta mina reciente y por esto no hubo ocasión para estudiar con exactitud estos criaderos de cobre con turmalina que en otros lugares ofrecen tanto interés mineralógico.

LOS FENOMENOS DE CONTACTO

Sumario

Cerca de Concepción del Oro, una roca bastante rica en ácido silícico atraviesa calizas ó por lo menos capas, que consisten en su mayor parte de caliza y ha sufrido á lo largo del límite de contacto algunas alteraciones de estructura, así como una alteración química en parte muy intensa, mientras que el panino sufrió una metamorfosis de contacto en todas partes por recristalización y con frecuencia por adición intensa de substancias nuevas.

Los fenómenos endógenos de contacto son los siguientes:

1. La formación de una facies marginal especial en el límite del "stock" de la granodiorita. No tuvo lugar en todas partes, y consiste en lo general solamente en cambios pequeños de la estructura y composición normal de las rocas, de los cuales ya hemos hablado arriba. Como un fenómeno notable de la influencia endógena sobre las rocas por la cercanía del contacto describiremos todavía una roca singular de plagioclasa

2. De una clase completamente diferente son las alteraciones endógenas causadas por adición de cal. Conducen á la segregación de granate y de diopsida, y según parece también, de otras particularidades mineralógicas de algunas rocas. Fueron observados en la roca del dique de la "Piedra Cargada," cerca de la Estación de Concepción.

En lo general tuvo lugar una adición intensa de cal á la granodiorita consolidada á lo largo del contacto inmediato. Esto causó que una zona ciertamente muy estrecha, la roca eruptiva se haya transformado en roca de granate, de manera que ella y la roca granatífera formada de la caliza, exteriormente no se pueden separar. La zona de granate del "stock" de la granodiorita será descrita detenidamente más adelante.

La metamorfosis exógena de contacto se expresa por los fenómenos siguientes:

1. La caliza se encuentra transformada en mármol á lo largo del contacto y las calizas más ricas en ácido silícico en roca córnea con wollastonita. A esto se agrega la formación macroscópica y microscópica, á veces en masa de granate, wollastonita, diopsida, vesuviana, epidota, mas raras veces de zoisita y hornblenda, y en algunos puntos de dipiro. Eu lo siguiente examinaremos si el origen de estos minerales, conforme á una opinión muy común, puede ser explicada solamente por un cambio molecular de substancia de las rocas, ó si está relacionado con una adición de substancias provenientes del magma.

2. Además, se han formado á lo largo del límite de contacto en todas partes, á veces en masas grandes, chalcopyrita y pyrita, en algunos puntos también hematita y magnetita, blenda y más raras veces cobre gris con cuarzo. Se demostrará que estos minerales son poco más ó menos de la misma edad que los silicatos arriba citados, y que han de referirse á una transformación de substancias del magma á la caliza, en algunos puntos enorme.

Como una consecuencia de la intrusión de la granodiorita se puede considerar la formación de las vetas de cobre arriba mencionadas, que no solamente se presentan en la periferia del "stock" eruptivo, sino pasan en parte también á las capas calcáreas vecinas, y son más modernas que las formaciones de contacto arriba citadas en el párrafo 2. En cuanto al origen de los numerosos criaderos metasomáticos de galena y blenda en parte á mayor distancia de la roca eruptiva, sólo se puede suponer por ahora que estén en relación causal con esta roca.

De lo dicho resulta, que en el capítulo siguiente tendremos que ocuparnos de los fenómenos de una emigración de substancias que tuvo lugar en ambás direcciones, tanto de la granodiorita hacia la caliza, como de esta última hacia la granodiorita.

Fenómenos endógenos de contacto

Variaciones no causadas por adicion de substancias

Los cambios de las rocas no originados por una adición de substancias consiste en que ésta en el contacto llega á ser en parte de grano más fino y semejante á la porfirita, y que por el aumento de los componentes obscuros toma á veces un aspecto lamprofírico. La penetración granofírica de cuarzo y ortoclasa parece ser más frecuente en las rocas marginales que en la granodiorita normal; de mis observaciones no puedo deducir con seguridad que estas rocas de contacto contengan más pyroxena que la granodiorita. Tal vez se debería mencionar la presencia de pyroxena verde de pasta (véase página 18) en algunas muestras del Valle del Arco. Pero me parece dudoso su carácter primario; al contrario, no me parece imposible que esta coloración esté en relación con los procesos que después del principio de la consolidación de la roca han conducido, en las cercanías inmediatas, á una formación intensa de granate y al origen de la zona de granate (véase arriba).

Más adelante se demostrará que también las diopsidas contenidas en la zona de granate no completamente reabsorbidas, tienen una intensa coloración verde.

La localidad de plagioclasa notable que se encuentra cerca del Salto de agua, antes de llegar á Aranzazú merece una descripción más extensa (Lámina VIII, figura 1). Allí un camino corta las rocas por casualidad precisamente en el límite de contacto y así se abrió una localidad rica en minerales que ya hace mucho hubiera llamado la atención en otras partes. La transformación muy intensa de la roca conducía á la formación de vesuviana parda, de mármol azul y de granate de diferentes colores. Más adelante hablaremos de la vesuviana. En algunos puntos se halla también roca de granate y diopsida. Estas formaciones de contacto están impregnadas por inyecciones de roca eruptiva, que de por sí ha segregado mucho granate, y que en parte está transformada en roca de epidota, como ya lo mencionamos arriba. De una de estas inyecciones, que se compone de una mezcla de grano fino de plagioclasa, ortoclasa, poco cuarzo, poca mica y mucha pyroxena, y que contiene además de mucho granate pardo obscuro y claro, verde y rojo de salmón, también mucha titanita, colecté muestras de agregados de plagioclasa fibrosa, íntimamente ligadas con el resto de la roca, y sin duda segregaciones de ella. El mineral que yo había tomado antes por wollastonita, está pues en relación íntima con la roca eruptiva que pasa en algunos lugares á una masa fibrosa y lustrosa de feldespato.

En la plagioclasa fibrosa (así la llamo para distinguirla de las plagioclasas normales de la roca principal), se encuentran diseminados como se ve aun macroscópicamente, granos y cristales perfectos de diopsida (caras reconocidas: ∞P, $\infty \bar{P} \infty$, $\infty \breve{P} \infty$), y granitos de granate. Pero además ten-

go muestras compuestas casi enteramente de plagioclasa fibrosa maciza, íntimamente ligada con granate de varios colores, generalmente color de brea y que casi se podría llamar roca de plagioclasa y granate, si fuera más extensa y de mayor potencia. La diopsida se encuentra en cantidad muy pequeña, la plagioclasa se encuentra en forma de drusas y el interior de éstas está rellenado principalmente con calcita, y á veces se observa con la lente un pequeño dodecaedro pentagonal de pyrita.

Después de haber disuelto el espato calizo se pueden aislar algunos cristales de plagioclasa que penetran en las drusas. Las estrías paralelas á la extensión longitudinal se muestran alrededor de los individuos prismáticos ó en forma de láminas ó varillas y por esto no corresponde á la laminación de maclas, sino á la estructura fibrosa que se observa también en los planos de fractura. Así es que los extremos de los cristales presentan una estructura finamente drúsica, que sin embargo no permiten ni con una amplificación de diez veces la determinación de las caras de los individuos de 1 á 2 milímetros visibles en las drusas. Por lo demás, las fibras prismáticas de tamaño de sólo fracciones de milímetro no están paralelamente ligadas Los agregados ó pseudocristales que se forman de este modo tienen en lo cortes transversales una forma generalmente rectangular y alcanzan un tamaño mayor de un centímetro.

No pudo hacerse un análisis del mineral por haber sido imposible encontrar material puro para este fin; pues las fibras están atravesadas por varios silicatos y sobre todo por numerosas lamelas finísimas de ópalo y de una substancia zeolítica. Una astilla casi libre de silicatos obscuros tiene un peso específico de 2.52–2.53. Al soplete el mineral humedecido con HF muestra una reacción muy viva de Na. En astillas delgadas se funden sólo las esquinas y el ácido clorhídrico no lo ataca notablemente. El índice de refracción del rojo es para α_1 y γ_1 más pequeño que 1.552 y casi igual á 1.544.

Una lámina muestra las relaciones íntimas del mineral con la diorita de pyroxena limítrofe, que lo envuelve á veces. La plagioclasa fibrosa encierra numerosos granos y cristalitos de diopsida y titanita, á veces individuos de plagioclasa normal que se reconocen por su lamelación de gemelos y á veces también cristalitos de jergón. Se encuentra epidota como producto de alteración del mineral. Los agregados fibrosos ligados en forma de cuñas tienen una extinción casi uniforme y no se distinguen de las plagioclasas normales que las envuelven ó con las cuales están ligadas de alguna manera, por su refracción y doble refracción. La estructura fibrosa se observa en la lámina por medio de hendeduras más ó menos claras atravesadas á su vez por grietitas más pequeñas. Esta se ve claramente entre nicols cruzados. Entonces se observa que los agregados de plagioclasa no son compactos, sino que encierran á lo largo de las fibras otras dos substancias que son de menor refracción que el mineral y que presentan además entre sí, una diferencia clara de refracción. El mineral de menor refracción es completamente hialino, sin crucero regular y enteramente isotrópico. Es sin du-

da ópalo que aun se nota macroscópicamente en las grietitas de los agregados, bajo la forma de una capita delgada azulada. Está acompañado por una pequeña cantidad de espato calizo. El segundo mineral tiene una doble refracción muy débil y sólo puede ser una zeolita, probablemente chabasita, cuya presencia pude comprobar en esta localidad. Encontré en una muestra compuesta de granate, plagioclasa y diopsida, cristales (R) de este mineral de tamaño de 0.75 mm. más ó menos; su refracción es entre 1.446 y 1.510 (chabasita = 1.49). Habiendo pensado al principio en la presencia de fluorita, sujeté tanto estos cristales como la plagioclasa fibrosa al soplete á la reacción del fluor, pero con resultado negativo. Esta chabasita se funde rápidamente al soplete en un vidrio ampolloso. La plagioclasa está bien separada por sus caras de las inclusiones de ópalo y zeolita.

Según las indicaciones anteriores acerca de la refracción de la luz, el mineral es una oligoclasa ó una oligoclasa-andesina de la misma composición que las zonas marginales ácidas de los fenocristales normales de plagioclasa de la roca eruptiva. Sólo aparentemente no está de acuerdo con esto el peso específico bajo de 2.52–2.53, pues la zeolita (chabasita peso esp. 2.1) y el ópalo (2.2) que lo atraviesan en todas partes, han de rebajar notablemente el peso del agregado (plagioclasa Ab_{60} An_{40} = 2.68). Tomando estas plagioclasas por cristales simples y no por agregados de individuos ligados casi paralelamente, la falta de laminación común de gemelos llamaría mucho la atención. Es cierto que en partes se observa que los agregados orientados de distinta manera se ligan y se atraviesan de una manera que se basa quizá en alguna ley. La extinción se hace aproximadamente paralela y vertical á la dirección del crucero principal que es al mismo tiempo la dirección longitudinal de los individuos. Paralela á esta está también el plano del eje óptico y en la lámina que estudié, igualmente paralela la dirección de la elasticidad máxima del éter, de lo cual resulta que los individuos están alargados en la dirección del eje *a*.

Sin duda esta oligoclasa-andesina se cristalizó del magma mismo y puede ser considerada igual á la plagioclasa de la roca como una de las últimas segregaciones de ésta. El carácter drúsico del agregado recuerda formaciones miarolíticas.

Por último, mencionaremos una observación notable: en la citada roca del apófisis, una de las plagioclasas normales en lamelas está transformada en una brecha y cementada de nuevo en las grietitas por un sistema de extinción uniforme de fibras de plagioclasa más recientes y del ópalo ligado con ellas. El sistema corresponde completamente á la inyección de la plagioclasa ácida en grietitas de núcleos más básicos y más antiguos de plagioclasa en la roca de Hernández mencionada en la pág. 16.

Una muestra encontrada abajo de la mina El Carmen en el contacto inmediato, que no se presta para una lámina por el estado alterado, deja ver en polvo al microscopio y á la lente, la plagioclasa fibrosa en gran cantidad, ligada con hornblenda azul-verdosa, granate pardo, epidota y cuarzo. Este

último se liga con feldespato, formando así una especie de granito gráfico. El agregado presenta una segregación de una granodiorita con mica y hornblenda muy rica en cuarzo é igualmente alterada.

Transformaciones de la roca eruptiva por adición de cal

Segregaciones de granate y diopsida

Las segregaciones á veces frecuentes de granate y quizá también en parte de diopsida, se explican por una absorción de materia por el magma eruptivo. Se observan casi únicamente en el contacto inmediato en donde se presenta el granate de cuando en cuando en gran cantidad en las rocas marginales. El granate forma entonces intercalaciones y granos irregularmente limitados y ligados de una manera sinuosa con los elementos de la roca limítrofe, así como cristales y grupos de cristales. Su color cambia aun en la misma muestra; por ejemplo, las inclusiones de granate en la roca de la apófisis en la localidad de la vesuviana, la cual contiene la plagioclasa fibrosa, son en gran parte pardo negruzcas, en parte también de color pardo claro (en este caso individuos de estructura zonal ó granos, tienen muchas veces un núcleo más obscuro y una costra clara) ó también verdes ó rojo claros. Sin duda estas inclusiones de granate no pueden considerarse como fragmentos de caliza con agrupación molecular cambiada y metamorfizados por el contacto, sino que se formaron de las partes del magma por las cuales fué reabsorbida antes la caliza. Esto resulta de los fenómenos siguientes: Muchas veces, aunque no siempre, las inclusiones muestran contornos cristalográficos. Los fenocristales de forma irregular y sinuosa no pueden ser fragmentos fundidos exteriormente por tener muchas veces en su totalidad una estructura concéntrica zonal, formando el núcleo de la masa las partes más obscuras y probablemente más ricas en hierro. El granate se muestra como una segregación verdadera de la roca y se adapta á su tejido. En donde está ligado con la plagioclasa fibrosa se observa á veces una estructura ofítica, formando entonces el feldespato el tejido de varillas y el granate la masa que rellena los intersticios; pero además se ve que se atraviesan mutuamente y de una manera irregular, de lo cual resulta que ambos tienen más ó menos igual tiempo de consolidación siendo la formación del granate contemporánea con las últimas segregaciones ácidas del feldespato (véase arriba). Tampoco observé en masas mayores de granate la forma angulosa de los fragmentos. Nunca tampoco parecen ser formados de granate solo; al lado del espato calizo aquí también en forma de segregación y como tal incluyendo granos de granate y de diopsida, se encuentra en ellos además feldespato. Entonces el granate está limitado por caras más ó menos claras (∞O, $2O2$) de los minerales ligados con él. También los pe-

queños granos de granate diseminados en la diorita encierran diopsida, feldespato y apatita, por lo cual la consolidación del magma está satisfactoriamente comprobada.

La reabsorción de la caliza por el magma y su influencia en las segregaciones minerales, pudo estudiarse de un modo excelente en la roca del dique de la Piedra Cargada. Esta última atraviesa desde Concepción en dirección meridional todo el valle aquí amplio, hacia la pared escarpada originada por la falla principal antes mencionada y formada en calizas jurásicas y cretácicas. La Piedra Cargada misma consiste de bancos delgados y levantados pertenecientes á una caliza gris mesocretácica con bancos y nódulos de pedernal y está atravesada por un dique eruptivo arqueado á lo largo del cual la caliza ha sido transformada en roca de granate y á veces también en masas de wollastonita en filones. De estas formaciones de contacto hablaremos más adelante. El dique mismo parece tener pocos metros de potencia, á veces solamente un metro; hubo dificultad de determinar su espesor, porque como lo muestra el estudio microscópico, parece ser transformado tan completamente en granate á lo largo del contacto, que no se puede observar un límite claro entre él y la roca de granate formada de la caliza; lo mismo sucede generalmente en los alrededores de Concepción entre la granodiorita y las formaciones de roca de granate, originadas por el metamorfismo de contacto (véase adelante). La roca eruptiva causa en el paisaje la impresión de una felsita rojo–clara ó verde clara, pero tiene una dureza notable y mayor lustre. Una de las láminas muestra una transformación casi completa en granate; otra muestra macroscópicamente poco distinta de la primera es en lo esencial todavía una roca de feldespato que sin embargo ha sido transformada por la absorción de cal. (Lám. VIII, fig. 2). Los carácteres más notables de esta última roca son al microscopio una segregación abundante de un granate claro y una diopsida incolora distinta respecto á su carácter, de la pyroxena común que se presenta en la zona interior del macizo.

La estructura microscópica de la roca mencionada al último, recuerda algo la de una traquita y parece ser porfírica. Consiste en mucha plagioclasa ácida, diopsida, granate y titanita; raras veces se observa un granito opaco de mena, aisladamente también jergón. La presencia de ortoclasa no es enteramente segura; cuarzo, apatita, mica y hornblenda no han podido observarse.

En una pasta fundamental de grano muy fino yacen generalmente granos fundidos exteriormente de plagioclasa, granos y cristales de granate y cristales que parecen pyroxena, pero que consisten sólo en parte de este mineral, componiéndose más bien de pyroxena y plagioclasa íntimamente ligadas. Casi eutéctica es la estructura de la pasta fundamental formada generalmente de feldespato; la roca en su totalidad no permite reconocer diferencias notables en la edad de los componentes, si no se toman en cuenta los fenocristales de plagioclasa.

El feldespato es en su mayor parte plagioclasa. La composición química de la roca nos lleva á la conclusión de que existe también la ortoclasa. Tanto los individuos grandes como los feldespatos de la pasta fundamental, son turbios por inclusiones microscópicas á veces netamente arregladas en series.

Los fenocristales se distinguen de los de la granodiorita normal y de las rocas marginales, por la falta casi completa de una estructura zonal y por la ausencia de una zona marginal más ácida, y por último, por el ángulo más pequeño de extinción de las lamelas, la que asigna á este feldespato su lugar en la serie de composición de la andesina. Varillitas de plagioclasa sólo se encuentran en número reducido; pertenecen, según se ha podido observar por su ángulo de extinción, á unas composiciones más ácidas. Por lo demás el feldespato forma entre los nicols cruzados un agregado de individuos coposos irregularmente limitados en general de extinción ondulada y aproximadamente con la refracción del bálsamo de Canadá (1.54). Algunos feldespatos que pudieran tomarse por ortoclasa porque no presentan laminación de gemelos, dejan reconocer individuos atravesados granofíricamente.

La diopsida es incolora en la lámina microscópica. Se presenta en individuos radiados aislados y en agregados de éstos, es muy pobre en inclusiones más antiguas, sobre todo de menas, y se distingue por estos caracteres de la pyroxena de la granodiorita, mientras que recuerda la de las rocas de contacto. Entre los individuos diseminados en gran cantidad por la pasta fundamental y los fenocristales de diopsida hay todas las transiciones de tamaño. La mayor cantidad del mineral se presenta en forma de granitos cuyas dimensiones bajan á veces hasta ser microlíticas y que á veces se juntan formando grupitos y acumulaciones encerrando así diopsidas grandes ó formando agregados, que imitan la forma de fenocristales de pyroxena, si son de algún tamaño mayor. De estas acumulaciones existen transiciones hasta formas particulares de crecimiento que poseen exteriormente la forma de cristales de diopsida, pero que sólo en parte consisten de varillas de extinción común ó de otros cortes transversales de este mineral, el cual está íntimamente ligado en estructura eutéctica con feldespato. La participación de la diopsida en estos pseudocristales puede ser muy pequeña y á veces mucho menor que la del feldespato. Estas formaciones de esqueletos y cristales atravesados recuerdan perfectamente una estructura de contacto. Los fenocristales grandes formados de este modo presentan muchas veces gemelos según $\infty P\!\!\!\cdot \infty$ y están limitados por caras terminales. Se trata según la forma de los cortes de una pirámide aguda 2P de la forma de fassaita. En los pseudocristales descritos la pyroxena comprueba la fuerza directiva mayor de la agrupación molecular; la substancia feldespática que la atraviesa posee una estructura alotriomorfa granulosa de la pasta fundamental de feldespato. Hay que mencionar la presencia de inclusiones de líquidos con burbuja móvil en la pyroxena.

Es muy común la titanita; se encuentra por lo general en la forma de

acumulaciones de granos turbios, forma también coronitas alrededor del feldespato y de la pyroxena y se observa por último de vez en cuando como inclusión en dichos minerales.

El granate incoloro se presenta generalmente bajo la forma de granos sinuosos de figura irregular y de cristales más ó menos bien limitados. Sólo en parte muestra una anomalía óptica clara. Atraviesa del mismo modo la pyroxena que el feldespato. La suposición de que haya provenido del último ó de la pyroxena no está justificada. Se encuentra de preferencia bajo la forma de granos sinuosos en el feldespato, pero entonces este último no está alterado en su superficie y no muestra ni grietas ni canales de conducción por medio de los cuales la transformación haya podido tener lugar. Algunos granos de granate están envueltos concéntricamente por una cinta feldespática delgada ópticamente uniforme y además se observan también agregados de granate que están atravesados por feldespato y pyroxena. Este granate tiene por lo tanto, como las inclusiones de granate arriba descritas, la misma edad que la plagioclasa ó es un poco más antiguo. Como se segregó en una grieta rellenada de matriz á consecuencia de la reabsorción del panino calcáreo, resulta que toda la roca, incluso los fenocristales de plagioclasa y á lo más con excepción de la titanita y de los otros componentes accesorios muy escasos, ha de haberse formado en la grieta del filón.

La roca de la Piedra Cargada estudiada microscópicamente fué analizada por el Prof. Dr. Dittrich obteniendo los resultados siguientes:

	XVa.	XVb.	XVα.		XVβ.		VI
SiO_2	54,60	55,51	0,9040		58,01		64,77
TiO_2	0,89	0,91	0,0111		0,71		0,83
Al_2O_3	14,56	14,81	0,1425		9,14		9,51
Fe_2O_3	1,04	1,06	0,0065	como FeO	......	$0,42 Fe_2O_3$	.....
FeO	0,49	0,50	0,0068	0,0198	1,27	0,43FeO	2,71
Mn O	0,06	0,06	0,0008		0,05		.....
Ca O	15,79	*16,05*	0,2815		*18,06*		9,23
Sr O	0,09	0,09	0,0009		0,06		0,03
Mg O	4,68	4,76	0,1159		7,44		5,03
Na_2O	3,63	3,69	0,0585		3,75		4,69
K_2O	2,09	2,12	0,0222		1,42		2,76
P_2O_5	0,16	0,16	0,0011		0,07		0,41
S	huellas	......	....		......		......
H_2O	1,64	......	....		......	CO_2	0,03
	99,72	99,72	1,5583		99,98		100,00

XVa. Composición absoluta de la roca.
XVb. La misma calculada según la substancia anhidra.
XVα. Relaciones moleculares.
XVβ. Las mismas calculadas en cifras por ciento.

En VI se indican los por cientos moleculares del análisis de la roca marginal del Puerto del Arco, la cual entre las tres muestras de roca que fueron analizadas de la masa principal de la granodiorita, se distinguió por el menor contenido de ácido silícico, así como por un contenido muy alto de cal. En la roca del dique de la Piedra Cargada la proporción de cal es casi doble. Como lo demostraremos más adelante el panino de la Piedra Cargada es muy pobre en alúmina y fierro, contiene poca magnesia y además en las partes exentas de pedernal, un poco de cuarzo; el titanio se encuentra en huellas. Por una reabsorción del panino debe haberse alterado un poco el contenido de magnesia y ácido silícico del magma y muy poco el contenido de alúmina, fierro, titanio, substancias alcalinas, etc., mientras que el contenido de cal alcanzó tal cantidad que hay que presumir que aproximadamente el 10 por ciento de la roca actual consiste en material reabsorbido del panino. Deduciendo estos 10 por ciento de las proporciones moleculares de CaO y calculando entonces los componentes restantes de nuevo en por cientos, obtenemos los números siguientes que se acercan mucho á los de la prueba VI:

SiO_2	64,45
TiO_2	0,79
Al_2O_3	10,15
Fe O	1,41
Mn O	0,05
Ca O	8,96
Sr O	0,07
Mg O	8,27
K_2O	1,58
Na_2O	4,16
P_2O_5	0,08
Suma	99,98

En este análisis sería A=5,74; el valor *n* sería en la roca=7, así pues, muy distinto del de las otras rocas analizadas (5.5—5.3—6.2).

Los cálculos ejecutados aquí, que presumen para la matriz un contenido todavía muy alto de cal, son ciertamente muy arbitrarios; pero también es claro que los números para SiO_2, Al_2O_3 y MgO alcanzarían una altura inverosímil si se calculara una reabsorción todavía más intensa de CaO. El valor indicado arriba MgO=8.27 es probablemente demasiado alto para que se pudiera explicar su altura por la reabsorción de MgO, la cual tomando en cuenta el contenido poco considerable de magnesia del panino, sólo podría haber sido muy baja. El valor de Al_2O_3=10.15 corresponde al contenido bastante uniforme de alúmina de las granodioritas examinadas y el valor $n=7$ probablemente conforme con la composición original del magma, indicaría un magma más básico si se pudiera deducir de los análisis citados arriba para la región de Concepción, que la acidez de las rocas disminuye con el aumento de *n*. El carácter básico original del magma es

también por esto muy probable, porque un poco de ácido silícico del panino debe haber sido reabsorbido seguramente.

De los por cientos moleculares para SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, FeO, MgO, K_2O y Na_2O se puede, en vista de la composición mineralógica sencilla de la roca, calcular con alguna aproximación la proporción por ciento de los componentes principales feldespato: granate y diopsida. Tomando entonces en cuenta las cantidades completas de SiO_2 y $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ obtenemos la distribución siguiente:

	SiO_2	$Al_2O_3+Fe_2O_3$	Ca O	Mg O + Fe O	K_2O	Na_2O	
Ortoclasa (2 Or)...........	8,52	1,42	.....	......	1,42	......	11,36
Albita (2 Ab.)..............	22,50	3,75	......	......	......	3,75	30,00
Anortita (An)...............	3,84	1,92	1,92	......	......	......	7,68
Diopsida......................	15,74	......	7,87	7,87	......	......	31,48
Granate.......................	7,41	2,47	7,41	......	......	......	17,29
	58,01	9,56	17,20	7,87	1,42	3,75	97,81

Quedaría un resto de 0.86 CaO que estaría en parte combinada á la titanita.

En este cálculo las proporciones moleculares referentes á granate y anortita fueron determinadas al último, de modo que es posible que los números encontrados para la anortita sean un poco bajos; resultaría para la plagioclasa Ab : An = 60 : 7.68 ó Ab_{89} An_{11}. De todos modos este resultado no está en desacuerdo con el del examen microscópico, porque también así se comprueba la presencia de una mezcla ácida de plagioclasa.

En la roca de la Piedra Cargada los diques delgados macroscópicamente visibles de diopsida y granate presentan un fenómeno muy curioso. En las grietitas finas se pueden determinar con la lente granate y prismas de diopsida, ambos incoloros. En la lámina examinada se observa una grietita microscópica de esta clase. Entre el granate y la diopsida que rellenan la grieta y las que se encuentran en la roca del dique no hay ninguna diferencia aparte de la anomalía débil del granate del dique. En donde la grieta atraviesa un cristal de plagioclasa se puede ver fácilmente que éste, á pesar de la potencia mínima de la grieta, de 0.15 mm. solamente ha sido transformado en granate. Hay que admitir que agentes semejantes al carácter del magma alterado por adición de cal, magnesia y probablemente ácido silícico, circularon más tarde por segunda vez en las grietas de la roca.

LA TRANSFORMACION DE LA GRANODIORITA EN ROCA DE GRANATE

(LA CINTA DE GRANATE)

Como ya lo mencionamos hubo en la roca del dique de la Piedra Cargada una transformación, aunque en pequeña escala, de la plagioclasa en granate á lo largo de grietas finas con granate y diopsida. Tal transformación

se observa muchas veces en un grado más intenso en donde la granodiorita ó sus modificaciones marginales se encuentran en el límite de la caliza. Principalmente se trata de caliza con Nerineas, que se transformó casi siempre en una roca de granate, frecuentemente de muchos metros de ancho por lo general amarillo-verdosa y atravesada de diopsida, wollastonita, cuarzo, espato calizo y menas. Con esta roca de granate se encuentra tan íntimamente ligada la que se formó de la roca eruptiva y que llamaremos aquí cinta de granate, así como con la diorita misma, de modo que se puede obtener con frecuencia una muestra de las tres zonas de rocas, tanto más que según mis observaciones la cinta de granate es de un ancho de unos cuantos centímetros.

En su totalidad, así como en su detalle, el límite de contacto es muy irregular, lo que se ve tanto en las minas como en las muestras en pequeña escala. En estas se ve cómo la diorita penetra á veces de un modo sinuoso ó bajo la forma de pequeños apófisis en la roca de granate; aun en las proporciones mínimas de la lámina se puede comprobar á veces una verdadera impregnación de la roca del contacto por material eruptivo. En algunos lugares, diques enteros de roca han sido transformados en roca de granate, como por ejemplo: varias inyecciones delgadas observadas cerca de un manantial en la bajada del Puerto del Arco á Catarroyo (fig. 1.) ó en el Puerto del Arco mismo, en donde tales diques de roca de granate se levantan de la caliza transformada como arrecifes de cuarzo.



Fig. 1.—Corte en la boca-mina del socavón cerca del manantial en el Valle del Arco. 1. Granodiorita. 2. Granodiorita transformada en roca de granate. 3. Roca de granate granulosa. Escala 1 : 60.

El límite entre la roca eruptiva y su cinta de granate es por lo general muy bien marcado. Puede volverse poco claro en los detalles por la circunstancia de que la transformación en granate haya avanzado en grietas finas desde el último hacia la diorita coloreando la roca con tintes rojizos ó verduscas. Sin embargo, las láminas examinadas de la diorita encontrada en el límite inmediato del granate no dejan reconocer transformaciones notables en comparación con la roca no alterada, no tomando en cuenta aquí las particularidades de estructura y de composición mineralógica caracte-

rísticas para la facies marginal. Es cierto que hay que recordar la coloración viva de verde de muchas pyroxenas de las rocas marginales (comp. p. 27) la que se repite en los restos de pyroxenas observables en la cinta de granate. La plagioclasa es aquí mucho más rica en partes turbias opacas, pero es completamente fresca hasta la cinta de granate dejando aparte una formación ocasional y secundaria de kaolín. A lo largo de la cinta de granate se encuentran granos de granate esparcidos en la diorita fresca.

La cinta de granate es por lo general una roca muy compacta y dura que deja reconocer macroscópicamente fenocristales más claros y angulosos, en una pasta fundamental ordinariamente amarillo–verdosa recordando una formación de epidota. Estos corresponden según su alineamiento, forma, tamaño y número á los fenocristales porfíricos de plagioclasa de la roca fresca limítrofe tan perfectamente, que nadie puede dudar de su origen ni de su significación. Perdieron sin embargo el lustre de la plagioclasa, muestran solamente indicaciones incompletas de crucero, no presentan laminación de gemelos y consisten según el examen microscópico, de granate casi incoloro. En la pasta fundamental verde se observa con la lente en algunas muestras restos de pyroxena ú hornblenda, pero nunca de mica. Depósitos con algo de chalcopyrita se encuentran en la cinta de granate y en la roca de granate limítrofe como formación contemporánea y en la diorita colindante á veces como impregnación.

Láminas que provienen de la cinta de granate muestran el hecho sorprendente que la roca eruptiva ha sido transformada casi sin restos y sin transiciones en roca de granate de grano fino, con adiciones secundarias de diopsida incolora, wollastonita, cuarzo y espato calizo. El examen se basa principalmente en material del Puerto del Arco, pero la cinta de granate en la mina Jaime en Aranzazú muestra un carácter microscópico muy semejante.

El feldespato desapareció en todas las preparaciones á pesar de que estas provienen de una distancia de sólo unos milímetros de la roca fresca. En su lugar entró granate en granos que deja reconocer una estructura zonal muy bien definida causada por la finura del grano y no por el color ó por consiguiente por la composición química. Esta estructura zonal recuerda enteramente la de las plagioclasas (lám. VIII, fig. 3). A pesar de esto no pretendo que haya una relación entre los dos fenómenos, porque la plagioclasa de la diorita no presenta la estructura zonal en lo general con tanta frecuencia y con tanta perfección como estas pseudomorfosis. Creo que no es imposible reconocer en dicha estructura zonal varios períodos de la transformación centripetal. Así se ven en una lámina algunas zonas de wollastonita finamente cristalina. Ya durante el proceso de la transformación tuvo lugar un fracturamiento de los cristales de plagioclasa de modo que se formaron desde algunas zonas granate y wollastonita en grietas. Las diferentes zonas se distinguen en estas pseudomorfosis no solamente por el tamaño de los granos del granate casi totalmente isotropo, sino también por la di-

ferente compacidad de inclusiones mínimas que originan una coloración, parda turbia del mineral. Estas también con la mayor amplificación todavía se parecen á un polvo finísimo sucio más ó menos denso, que puede hacer opaco el mineral ó algunas zonas de él; su naturaleza no se puede reconocer ni con una amplificación de 1200 veces. Estas zonas turbias aparecen blancas á la luz reflejada. Probablemente se trata de burbujas de gas y líquido; por lo menos reconocí en un granate verdaderas cavidades relativamente grandes y numerosas que según el margen obscuro causado por la reflexión total estarán rellenadas de gas. Mencionaré aquí que todos los minerales transparentes de la cinta de granate son más ó menos ricos en ampollas.

La pasta fundamental de la diorita porfírica ha sido sustituída por una mezcla de granate, por lo general con diopsida, mas raras veces con wollastonita y frecuentemente con cuarzo, espato calizo y un poco de apatita. El granate, la diopsida y la wollastonita son más ó menos contemporáneos; la formación de granate puede haber empezado un poco antes de la cristalización de los otros silicatos. El cuarzo y el espato calizo son un poco más recientes perteneciendo sin embargo al mismo proceso de formación mineral. No se pudo decidir con seguridad si á veces el cuarzo sustituyó al espato calizo.

Los silicatos no están distribuídos de un modo regular en la pasta fundamental. Los individuos de granate tienen aquí un tamaño muy variable; tanto en granos muy finos, como netamente cristalino, el mineral se presenta también drúsico y entonces no raras veces con anomalía óptica; esto último acontece en el mismo individuo, á veces en el núcleo, otras veces en la zona exterior. Con frecuencia cristales bastante grandes de granate muestran una estructura conchoide de capas delgadas, de refracción muy distinta y de diferencias claras en el color, las cuales provienen de un grado distinto de doble refracción. Partes claras de granate pobres en inclusiones muestran con más frecuencia la anomalía que las opacas. Para la explicación de las últimas no hay indicios, sin embargo se puede decir que en estas rocas los granates anormales son los más recientes.

En varias preparaciones se encuentran cantidades mayores de pyroxena y á veces también de hornblenda. La pyroxena es de dos clases; en una de las láminas consiste aparentemente sólo de restos uniformes corroidos de la pyroxena diorítica; en otra se encuentran al lado de individuos uniformes grandes, también corroidos y más ó menos transformados, numerosos granos y agregados de una diopsida recién formada. La pyroxena diorítica más antigua y los restos de hornblenda del mismo origen que se encuentran al lado de ella, se distinguen por su color verde ó amarillo en la lámina, por las inclusiones escasas de menas negras y por la corrosión indudable del resto de los silicatos que componen la cinta granatoide. Estas inclusiones verdes no siempre pueden determinarse y distinguirse, faltando en ellas una limitación exterior marcada. Considero como hornblenda los individuos

con crucero bien definido con ángulo de extinción pequeño y con un pleocroismo claro que demuestra tintes pardos, azul verdosos, amarillos vivos y amarillos verdosos, distinguiéndose así de la anfíbola diorítica no alterada. La pyroxena se reconoce con seguridad por el ángulo de extinción muy grande y por un crucero menos aparente; es de color amarillo verdoso ó presenta la coloración verde nebulosa característica para muchas pyroxenas de la zona diorítica marginal ya antes mencionada. Es muy intensa sobre todo cerca de la periferia del grano y casi incolora en otras partes. Como los feldespatos transformados en granate, también los restos de pyroxena y hornblenda han sido fracturados repetidas veces durante la transformación y se presentan en ciertos casos como fragmentos del mismo fenocristal de tamaño considerable. La corrosión engendra muchas veces formas muy irregulares sinuosas en la lámina ó una separación en pedazos aparentemente aislados, cuya relación mutua dentro del resto de la masa de silicatos se puede comprobar todavía por su orientación óptica común. La extinción de la pyroxena verde hierba se determinó en un caso como $C : c = 53°$, no pudiéndose tratar pues de aegirina.

En una lámina muy rica en wollastonita la transformación de la hornblenda verde presenta los detalles siguientes. Las zonas marginales del mineral se rellenan en partes con polvo opaco, el margen mismo presenta fenómenos de reabsorción y en el lugar de la hornblenda entra una mezcla de granate y wollastonita que recuerda por su refracción muy distinta de estos dos minerales el aspecto de una esponja muy porosa. En el interior se forman partes irregulares de granate por las cuales la hornblenda aparece como perforada por polilla. El mineral de hierro contenido en la anfíbola se encuentra completamente reabsorbido por el granate. La reabsorción de la pyroxena verde es muy semejante. En una lámina aparentemente exenta de hornblenda se ve cómo en una sección transversal de pyroxena ejecutada paralelamente al plano de simetría, se desarrollan con preferencia en partes más intensamente coloridas, varillitas opacas tanto paralelas al eje *c*, tanto inclinadas en relación con él bajo 75° más ó menos. En su cercanía la pyroxena ha sido transformada en granate que forma en ella cuadros más ó menos rectangulares en parte contiguos entre sí. En una lámina que proviene de la cinta de granate de la mina Jaime se encuentran al lado de pseudomorfosis de granate según feldespato, también otras en las cuales la transformación engendró primero un agregado de partículas rectangulares de granate compacto turbio, isotropo y después en los intersticios granos de granate anómalos y más claros. Ya no se puede reconocer cuál es el mineral transformado en este caso. Ni en la hornblenda ni en la pyroxena se pueden comprobar siempre grietitas por las cuales pudieran haber penetrado los agentes que formaron el granate. A veces yacen restos de pyroxena diorítica verde más antigua, en medio de acumulaciones con límites rectangulares de granate y granos más modernos de diopsida; los antiguos restos muestran en su orientación común todavía su relación,

mientras que los individuos modernos de diopsida forman un agregado irregular. En tanto que las pyroxenos no están coloridas de verde y no muestran fenómenos notables de reabsorción no se puede distinguir siempre netamente la pyroxena diorítica más antigua de la diopsida recién formada. Hay que mencionar que la última nunca encierra minerales de hierro y es incolora ó de un verde muy claro. No se puede resolver si los agregados ya mencionados de granos más ó menos bien limitados y angulosos, casi exclusivamente formados de diopsida y á veces encerrando también apatita, no pueden ser explicados en parte por una desagregación molecular de hornblenda.

En una muestra rica en restos de hornblenda amarilla verdosa parece faltar enteramente la diopsida más reciente; en su lugar se observa aún macroscópicamente wollastonita. En la lámina se ve que es más ó menos contemporánea con el granate; quizá su cristalización empezó un poco más tarde que la del último. La dirección de la extinción concuerda generalmente con la dirección de las fibras, el plano óptico de los ejes está perpendicular á la extensión longitudinal de los individuos. Secciones octogonales semejantes á las de la pyroxena dejan reconocer tres direcciones de crucero muy bien marcadas, de las cuales ninguna se encuentra paralela al eje óptico de elasticidad. La wollastonita es pobre en inclusiones; á veces se observan agrupaciones de cavidades en parte con una burbuja. Como producto de transformación de la wollastonita se observan agregados de un carbonato en fibras finas que según el examen microscópico no parece ser espato calizo, sino más bien aragonita.

La apatita no es muy rara en las rocas de la cinta de granate. Se presenta en individuos de tamaño mayor que en la roca eruptiva y por eso ha sido seguramente transformada. Los cristales prismáticos no tienen límites muy claros, pero dejan reconocer en parte con claridad el corte transversal exagonal; el carácter negativo, el eje único, la fuerte refracción y la doble refracción débil no dejan en duda la naturaleza del mineral. Este está rellenado de ampollas relativamente grandes.

Al lado de la diopsida se presenta á veces mucho cuarzo con ó sin espato calizo é íntimamente ligado con el granate. Rellena en él, por decirlo así, drusas, cuyo núcleo puede ser también granate. El cuarzo y el espato cailzo pertenecen al mismo proceso de formación que los silicatos. El cuarzo encierra inclusiones de líquido con burbuja muy móvil y granitos y cristalitos con caras bien limitadas ($\infty O, 2O2$) de granate. Calentando ligeramente la burbuja desaparece temporalmente, lo que demuestra que las primeras contienen por lo menos en parte ácido carbónico líquido.

El señor profesor Dr. M. Dittrich ha analizado una muestra de la cinta de granate que colinda con la diorita de pyroxena y mica, cuarcífera y de grano fino (núm. 8) del puerto del Arco y que se ha formado por la transformación de esta última roca; la muestra presenta la diorita no alterada y fresca y la cinta de granate. Fenocristales de plagioclasa frescos, blancos y

prismas de pyroxena azul-verdosa son los componentes característicos de la roca eruptiva; además se encuentran, reconocibles á la simple vista, los cristales alargados de mica con su cinta de pyroxena y plagioclasa (véase p. 18). Con la lente se reconocen fenocristales de granate. Muy bien marcado es el límite de la cinta de granate. Sin un estudio detenido se podría creer que se trataba de una zona de descomposición en la roca colorida de verde por una formación cuantiosa de epidota, también se ha conservado la estructura de la roca. Se ven las pseudoformosis según feldespato claras compuestas de granate compacto, entre ellas (á la lente) la pasta fundamental algo drúsica por efecto de la disolución y principalmente compuesta también de granate amarillo-verdoso y en ella todavía con bastante claridad las pseudoformosis según pyroxena igualmente compuestas de granate y en parte de restos bien conservados de pyroxena azul-verdosa. De biotita no se observa ni huella. La cinta de granate tiene un ancho de sólo 3 cm.; á mayor distancia de la roca fresca la roca granatífera ya no muestra la estructura de la diorita ni las pseudomorfosis. Según esta muestra no cabe duda que la cinta de granate realmente es una diorita transformada.

Al microscopio la roca se compone de granate principalmente de color pardo claro ó verde claro, en parte en pseudomorfosis claras muy bien limitadas según cristales de plagioclasa, con una estructura zonal muy notable que recuerda perfectamente la estructura conchoide de este último mineral, de bastante cuarzo, de diopsida y un poco de espato calizo. De esta muestra se ha tomado la sección representada en la lámina VIII, fig. 3. El resultado de su análisis fué:

	A	B	
	Análisis total	Insoluble en HCl (calculado)	Soluble en HCl
SiO_2	41,49	32,78	8,71
TiO_2	0,42	0,14	0,28
Al_2O_3	11,68	2,58	9,10
Fe_2O_3	11,14	1,19	10,46
FeO	0,46	—	—
MnO	0,12	—	0,12
CaO	30,80	4,61	26,19
MgO	1,73	1,58	0,15
K_2O } Na_2O	0,32	0,10 } 0,10	0,12
P_2O_5	0,03	—	0,03
S	huella		
Pérdida al rojo	1,25 } H_2O = 1,08; CO_2 = 0,17 (calculado).		
	99,44		

Suponiendo que la muestra pudiera contener productos secundarios de descomposición supliqué al señor profesor Dr. Dittrich, que lavara el polvo con ácido clorhídrico caliente antes de comenzar el análisis. El tratamiento con el ácido tuvo la consecuencia inesperada que una parte bastante

grande del polvo mismo fué disuelta. En el análisis anterior fueron mencionados en B el producto de la disolución y el residuo; el tratamiento fué continuado hasta que el HCl diluído (1 : 4) y en varias veces renovado ya no mostraba coloración.

El residuo deja reconocer al microscopio astillas angulosas de diopsida y granos de granate.

Como lo demuestran los análisis el contenido de magnesia del polvo ha cambiado muy poco por la lixiviación, lo que concuerda con la resistencia de la diopsida al ácido clorhídrico. El granate al contrario ha sido destruído en su mayor parte.

Para poder juzgar de la adición de materia y quizá también de su diminución durante la formación de la cinta de granate, se debería saber si algunos componentes químicos han conservado su cantidad durante la transformación de la roca y cuáles fueron éstos. Si se pudiera suponer que, como en muchos otros procesos de transformación, la cantidad de alúmina no haya cambiado y que la granodiorita transformada haya poseído la composición de la roca VI muy semejante que proviene también del Puerto del Arco (p. 9), entonces el cuadro siguiente podría demostrar los cambios de las proporciones entre los porcientos de peso de alúmina y de los otros componentes esenciales.

	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
							0,30	0,27
VI.	1,00	4,02	0,13	0,08	0,53	0,21	0,57	
A.	1,00	3,55	0,95	0,04	2,63	0,15	0,03	

La proporción del ácido silícico habría entonces quedado aproximadamente la misma, un aumento considerable lo muestra el contenido de cal y también el contenido de Fe_2O_3 habría aumentado mientras que la cantidad de MgO habría cambiado aparentemente poco; las substancias alcalinas habrían desaparecido por completo. Este resultado corresponderá probablemente en lo general á la realidad, aunque estaría justificada la suposición de una adición tanto de alúmina como de ácido silícico. Pues sin tal adición no se puede concebir el origen de la roca granatífera inmediata procedente de calizas bastante puras, ni el de las formaciones de wollastonita en partes bastante considerable, de las cuales hablaremos más adelante. Comparando el análisis con la composición mineralógica de la roca resulta que el granate debe ser un granate de cal, alúmina y fierro.

La transformación de la granodiorita y el origen de la roca granatífera formada de la caliza é íntimamente ligada con la cinta de granate fueron seguramente contemporáneos; debe haberse producido cuando la roca eruptiva se había consolidado por lo menos ya en gran parte. Esto lo indica la estructura de la cinta de granate con sus pseudomorfosis según plagioclasa,

sus restos de hornblenda y pyroxena y la extensión del fenómeno ocasionalmente visible á lo largo de las grietitas capilares de la roca eruptiva. La adición de materia tuvo lugar desde abajo y del lado, principalmente desde la caliza; sin adición de cal la cinta de granate no podría haberse formado, y esta provenía desde la caliza, está comprobado por el hecho de que tales formaciones faltan lejos del contacto, es decir, en el interior del macizo de granodiorita.

La estructura de la cinta de granate recuerda en muchos puntos las rocas de contacto; no se puede reconocer una serie determinada de la edad de los minerales participantes. El límite entre ella y la roca eruptiva es muy marcado y al mismo tiempo los componentes de la roca fueron destruídos casi sin dejar resto; el feldespato desapareció por completo, y lo mismo la biotita, el cuarzo de la roca y la titanita. La hornblenda y la pyroxena resistieron mayor tiempo á la reabsorción ó transformación; la apatita ha sido recristalizada.

La diorita no muestra fusión en ninguna parte del contacto; ni en las cercanías inmediatas á la cinta de granate se puede reconocer formación de vidrio en sus feldespatos. Para eso sería necesaria la alta temperatura de fusión del labrador Ab_1An_1 (1415–1426°).[1] La presencia del cuarzo y de la wollastonita ponen un límite mucho más bajo á la temperatura que predominaba al tiempo de la formación de los minerales. Ambos son componentes primarios de la cinta de granate y no pseudomorfosis; el cuarzo se forma sólo á temperaturas más bajas de 800°,[2] la wollastonita sólo abajo de 1180°.[3] Respecto al límite inferior de la temperatura necesaria para este proceso daría algún indicio la falta completa de silicatos primarios hidratados, principalmente la epidota.[4] La formación de la cinta de granate no se tendrá que referir á soluciones sino á una penetración de gases; no se encuentran pruebas como p. e. una estructura en capas de los macizos para la influencia de agua líquida cuya existencia sería concebible hasta una temperatura de 365° bajo una presión simultánea de 200 atmósferas (correspondiente al peso de una cubierta de caliza de una potencia de 800 m.). Con seguridad se puede decir que exhalaciones enormes de ácido carbónico deben haber acompañado la formación de granate; de cada metro cúbico de la caliza transformada deben haberse producido en números redondos 1,200 kg. de CO_2.

1 Day and Allen, The isomorphism, and thermal properties of the felspars. *Am. Jour. of Sc. 19*, 1905, p. 93–142.

2 Day and Sheperd, The lime-silica series of minerals. *Am. Jour. of Sc. 22*, 1906, p. 265–302; Die Kalkkieselreihe der Minerale. *Min. petr. Mitt. 26*, 1907, p. 169–232.

3 Allen and White, On wollastonite and pseudo-wollastonite, polymorphic form of calcium metasilicate; with optical study by Fred. Eugene Wright. *Am. Jour. of Sc. 21*, 1906, p. 89–108.

4 Mencionaré aquí que Specia (Il dinamometamorfismo e la minerogenesi. *Atti R. Accad. d. Scienze di Torino.* 40, 1904–1905. Adun. del 7 maggio 1905) en vano ha tratado de obtener la síntesis de la wollastonita de calcita y ácido silícico gelatinoso á temperaturas entre 100° y 200° durante siete días.

Los fenómenos exógenos de contacto

Observaciones generales

Dándole á la idea de los fenómenos exógenos de contacto la concepción más amplia, describiré en las páginas siguientes, conforme á la subdivisión dada en p. 26, las transformaciones de los sedimentos con ó sin adición de materia, así como todas las formaciones de minerales de la cercanía del contacto en los sedimentos y procedentes con toda seguridad ó con gran probabilidad de la roca eruptiva. El capítulo siguiente se ocupa pues en la verdadera metamorfosis de contacto y la formación de los criaderos de menas.

En la región que estudié los sedimentos se componen casi únicamente de calizas. Su impureza consiste esencialmente en ácido silícico distribuído en la roca, unas veces concentrado en concreciones de pedernal, otras veces como arena cuarzosa, en algunos casos en cantidad muy considerable. En las numerosas rocas de contacto estudiadas, no he podido demostrar la existencia del ácido fosfórico bajo ninguna forma, tan considerable en varias capas no alteradas del Jurásico superior. Magnesia, fierro y alúmina no desempeñan un papel importante en los sedimentos, como lo demostrarán los análisis que se dan más adelante; margas y calizas dolomíticas no las he encontrado en las cercanías de Concepción.[1]

De acuerdo con la falta casi completa de alúmina en los sedimentos se debería esperar como producto de contacto únicamente mármol y silicatos de cal libres de alúmina. Realmente la wollastonita es muy frecuente en algunas partes alrededor de Concepción, pero el granate más ó menos rico en fierro forma el mineral de contacto más importante y se encuentra á veces en masas grandes. De esto resulta que la metamorfosis debe haber tenido lugar bajo una adición considerable de materia. Diopsida, vesuvianita, dipyro y epidota son otros minerales de contacto; en algunos casos raros he encontrado también hornblenda y zoisita. En un capítulo especial discutiremos hasta qué grado, según una opinión bastante generalizada, los silicatos se han formado por una transposición molecular de la materia contenida en la caliza ó hasta qué grado fué necesaria para su formación una adición de materia procedente de la roca eruptiva.

Las calizas más ó menos ricas en cuarzo arenoso, pertenecientes principalmente al Portlandiano, muestran una metamorfosis completamente distinta de la de las calizas con pedernal, por lo demás casi puras del Cretácico y del Jurásico; esto se puede decir por lo menos de la zona de contacto no colindando inmediatamente con la roca eruptiva, donde ambas de igual

1 Nos permitimos observar que en los trabajos citados de Burckhardt se hace constar que tanto en Mazapil como en Concepción del Oro se encuentran muchas capas arcillosas y margosas en la serie neojurásica; estas rocas se hacen notables por dar lugar siempre á una depresión característica en el terreno. (Nota de los traductores *E. Böse y C. Burckhardt.*)

manera han sido transformadas en roca de granate ó de vesuvianita. Fuera de esta zona la metamorfosis de la primera conduce á la formación de piedra córnea de wollastonita rica en cuarzo, la de la última á mármoles con un contenido de silicatos. Tenemos pues que discutir en lo siguiente varias clases de rocas de contacto.

La extensión de la metamorfosis de contacto no se puede limitar muy claramente, porque se pierde poco á poco con la distancia de la roca eruptiva. Como ya lo mencionamos antes (p. 6) sólo la parte del sistema de capas que según Burckhardt fué impulsada hacia arriba por la granodiorita, ha sido metamorfizada en parte. Burckhardt habrá limitado bien en su carta la zona de la metamorfosis visible; esta desaparece pues á una distancia de sólo unos 300 metros del macizo eruptivo; pero se debe tener en cuenta que varias veces como p. e. en la región del Picacho del Abra debajo de la roca sedimentaria se encontrarán á poca profundidad masas eruptivas y que la distancia del gran macizo principal no es necesariamente la del verdadero foco de la metamorfosis.

Probablemente todos los sedimentos de la región de Concepción son bituminosos y por esto teñidos más ó menos de gris, negro ó pardo. El grado de esta coloración no necesita corresponder de por sí á la cantidad de los hidrocarburos existentes, sino que podría depender de su clase especial y color. También calizas casi negras dieron con el tratamiento con ácido clorhídrico sólo un residuo pequeño carbonoso al lado del contenido del cuarzo generalmente poco considerable. El efecto de la atmósfera ha blanqueado muchas calizas primitivamente bituminosas y esto tanto más cuanto menos compacta es su estructura. Esto se refiere principalmente á las calizas del Portlandiano superior ricas en arena de cuarzo, en los afloramientos superficiales casi áspero-terrosos y en parte completamente blancos. El verdadero contenido de carbón en las calizas fué hecho visible y conservable por la metamorfosis de contacto, transformándose el hidrocarburo en grafita. La formación de la grafita es en Concepción un fenómeno que pertenece á la zona de contacto exterior; en los productos de metamorfosis de contacto más intensa, especialmente en donde ésta había tenido lugar con adición considerable de materia, no pude comprobar la presencia de carbón ó sólo en cantidades pequeñas. La formación de grafita tiene que referirse claramente á un proceso de destilación semejante á aquél que en las cercanías de rocas eruptivas transforma la lignita y la hulla en antracita. Este fenómeno da en la zona de contacto un color intensamente negro á muchas calizas que en lo general no llaman la atención por su color y que hasta son de color completamente claro en sus afloramientos superficiales. Esto se refiere á las capas del Portlandiano y á muchas capas de la caliza con Nerineas, lo que se observa perfectamente en el lado Sur del Picacho del Abra, donde tal capa en un pliegue fuertemente arqueado se hace visible desde lejos (lám. V, fig. 1).

Más cerca del contacto se observa una repartición en ondas y cintas del

contenido del carbón antes de que la caliza pase á mármol blanco. La coloración profundamente negra de algunas capas como p. e. de las calizas del Portlandiano ricas en wollastonita cerca del Picacho del Abra, no corresponde de ninguna manera á un contenido alto de grafita; en la mayor parte de los casos este contenido es muy pequeño como se puede comprobar calentando al rojo el residuo no disuelto en el ácido clorhídrico.

Todas las rocas de contacto tienen un contenido de pyrita ó pyrrhotita, aunque en lo general muy pequeño. Las acumulaciones de mayor importancia de minerales de cobre y fierro, etc., que serán descritas aparte se encuentran por lo común más cerca al contacto.

Además de las transformaciones químicas y mineralógicas de las rocas, tendremos que mencionar también cambios mecánicos notables que se han producido durante la recristalización, probablemente como consecuencia de la presión de la roca eruptiva hacia arriba.

La naturaleza química de los sedimentos normales

Para poder seguir exactamente el proceso químico de la metamorfosis de contacto, es decir, una transformación de la cubierta de rocas metamorfizadas no sólo á consecuencia de cambios moleculares, sino también por una adición de materia por parte del magma, sería necesario comparar la composición química de determinadas capas de naturaleza normal con su producto de transformación, y todavía en este caso se tendría que suponer que una capa sedimentaria dentro de una extensión limitada tuviera una composición química poco variable, suposición no siempre justificada. Es cierto que cerca de Concepción el carácter de las capas en las diferentes formaciones es bastante distinto en parte, pero no me ha sido posible seguir determinado horizonte verticalmente poco extenso por todos los estados de la metamorfosis de contacto. En la cercanía del contacto series enteras de capas me parecían perder los caracteres necesarios para su reconocimiento, y dentro de la zona más ó menos potente de la transformación más intensa en el lugar de todos los sedimentos se encuentra una masa de silicatos de cal hasta de 80 m. de ancho y ya no se puede hablar de una serie de capas. Esta insuficiencia de la observación no es de tanta importancia porque dentro de complexos de capas bastante potentes, la naturaleza de los sedimentos casi todos calcáreos, es muy monótona y deja presumir una composición química bastante constante. Como ya lo mencioné no he encontrado rocas dolomíticas ó arcillosas cerca de Concepción. Pero varias capas son ricas en ácido silícico, otras al mismo tiempo en ácido fosfórico.

A continuación doy algunos análisis que fueron hechos de muestras de caliza escogidas arbitrariamente y que confirman lo dicho.

Caliza con Nerineas gris–obscura de la pendiente oriental del Picacho del Abra. Se disuelve fácilmente en ácido clorhídrico diluído dejando un residuo negro–pardusco. Análisis del Sr. Ayudante Dr. Zimmermann:

SiO_2	3,20	3,19
Al_2O_3	0,31	0.33
Ca Co_3	95,67	95,73
Mg Co_3	0,77	0,81
Fe_2O_3	huella	....
P_2O_5	huella	....
	99,95	100,06

En otra muestra de la caliza con Nerineas de la misma región encontró el Dr. Zimmermann:

SiO_2	1,18	1.20
Al_2O_3	0,70	0,69
Ca Co_3	96,57	96,54
Mg CO_3	1,55	1,49
Fe_2O_3	huellas	....
	100,00	99,92

Caliza gris-pardusca del Cretácico medio cerca de Mazapil, de la cual se ha quitado el pedernal mencionado más adelante. Disolviéndola con ácido clorhídrico quedan cristalitos mínimos de cuarzo que encierran substancia carbonosa. Analizada por el Dr. Zimmermann, dió:

SiO_2	2,90	2,92
Fe_2O_3, Al_2O_3, TiO_2	1,07	1,04
$CaCO_3$	95,82	95,81
MgO	0,50	0,51
	100,29	100,28

Caliza apizarrada gris-pardusca cristalina de grano grueso del horizonte con *Waagenia* (Kimmeridgiano) con una impresión de *Perisphinctes* del Puerto de la Laborcilla. Análisis del Prof. Dr. Dittrich:

SiO_2	20,54
Al_2O_3	1,23
Fe_2O_3	0,26
CaO	42,49
MgO	0,53
P_2O_5	0,14
Pérdida al rojo (de esta 33,99 CO_2)	34,56
	99,75

Notable es el contenido pequeño de fósforo, fierro y magnesia y la gran cantidad de ácido silícico. Tratando 13.2 gr. de la misma roca con ácido clorhídrico, obtuve 21.4 por ciento de residuo seco, que calentado al rojo

perdió 0.4 por ciento. El pequeño resto que quedó después de calentar el residuo con ácido fluorhídrico, fué fundido con $KHSO_4$ lavado con agua fría y dió al hervir cantidades claras de ácido titánico, el que pudo comprobarse por H_2O_2 y en la perla de sal de fósforo con toda seguridad.

Una muestra de las calizas margosas, apizarradas, blancas del Portlandiano superior del Puerto de la Laborcilla, dió igualmente un residuo bastante cuantioso colorido de negro–pardusco por carbón que consistió casi unicamente de ácido silícico con un poco de alúmina y óxido de fierro.

El contenido de ácido fosfórico de las capas normales alcanza según Burckhardt[1] en tres horizontes del Jurásico superior, una cifra tan alta que aquellas rocas pueden ser llamadas fosforíticas. El horizonte fosforítico inferior pertenece, cerca de Mazapil, más allá de la montaña, al Kimeridgiano superior; un análisis ejecutado por el Dr. v. Vigier dió 0.93 por ciento de P_2O_5. Otros dos horizontes más importantes se encuentran en el Portlandiano; v. Vigier encontró en ellos hasta 23.54 por ciento de P_2O_5. Burckhardt cita además los análisis de muestras de la llamada caliza fosforítica roja (I) y de la gris (II) de la región de Mazapil, ejecutados por J. Bush. El color rojo de la primera proviene de impregnaciones con óxido de fierro. Es característico para esta clase de rocas que ambas son ricas en fósiles. La caliza roja posee una estructura singularmente nodular que debe su origen en parte á riñones de caliza de grano grueso, intercalados en una pasta fundamental de grano más fino. Las rocas son bastante ricas en carbón; una caliza fosforítica negra llena de conchas de *Aucella* dió al ser tratada por ácido clorhídrico un residuo carbonoso en forma de hojitas exagonales, probablemente grafita.

Bush encontró las composiciones siguientes:

	I		II[2]	
H_2O	0,31		0,37	
$Ca_3(PO_4)_2$	36,59	$P_2O_5 = 16,76$	41,18	$P_2O_5=18.87$
$CaCO_3$	19,66		26,45	
$CaFl_2$	5,03		6,55	
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,65		0,43	
Substancias orgánicas	0,58		1,10	
Componentes no determinados	5,09		1,23	
Residuo insoluble	32,09		22,69	
	100,00		100,00	

El residuo considerable se compone sin duda en su mayor parte de cuarzo.

Las calizas fosforíticas de la región de Concepción contienen, según C. Castro y F. Urbina:

1 Burckhardt. Sobre las rocas fosforíticas de las Sierras de Mazapil y Concepción del Oro, Zacatecas. *Parergon. Inst. Geol. de México.* 2, 1907. pág. 63–67.

2 El Sr. Dr. Burckhardt me confirma que en el trabajo original se encuentra un error de imprenta, siendo el contenido verdadero de $CaFl_2$ 6,55 y no 8,55 como se indica allí.

Puerto de la Laborcilla	16,08	P_2O_5
Cerro del Temeroso	6,78	,,
Valle del Almagre	8,06	,,
Aranzazú	3,26	,,

Mencionaré aquí que no he encontrado bajo ninguna forma el alto contenido de fosfato de calcio y de fluoruro de calcio de estas rocas en el estudio microscópico de las rocas de contacto (véase abajo).

MÁRMOL EPIDOTÍFERO

A lo largo del camino de Aranzazú la zona de roca de granate del contacto inmediato en donde éste no está cubierto por acarreo y toba calcárea, parece ser poco potente. La caliza con Nerineas demuestra allí una transformación intensa en un mármol azulado ó verdoso claro, con un grano hasta de un centímetro, cuyo tamaño cambia hasta en una misma muestra. En donde contiene segregaciones de pedernal como especialmente en la parte superior del camino más allá del salto de agua, estas se han transformado en granate verde. Estas intercalaciones de roca de granate cuyas dimensiones cambian mucho y disminuyen hasta la de cintas finísimas, son en partes despedazadas como en un material plástico, arqueadas y los fragmentos son movidos (láms. V, fig. 2 y VI, fig. 2). Sin duda esta transformación mecánica ha tenido lugar durante la recristalización de la caliza, pues no la he visto en ninguna parte fuera de la zona de contacto cerca de Concepción, mientras que arrugamientos, plegamientos y despedazamientos, no son de ninguna manera raros cerca del contacto. En el presente caso, el mármol mismo que encierra las inclusiones de roca de granate despedazadas no muestra indicios de los efectos de tensiones ó presiones. Es tan uniformemente granulado y homogéneo, que sólo la posición cambiada de las inclusiones deja reconocer que aquí ha tenido lugar un efecto mecánico durante la formación del mármol. Este efecto proviene seguramente del magma ascendente.

Para encontrar la causa de la coloración de verde más intenso, en partes del mármol, disolví primero grandes cantidades de él en ácido clorhídrico y obtuve un residuo en forma de polvo, compuesto principalmente de epidota, muy poco granate, individuos aislados de plagioclasa, dodecaedros pentagonales así como hojitas rectangulares y varillas de pyrita, y por fin grandes cantidades de esqueletos de ácido silícico. Traté de nuevo cantidades de mármol con ácido acético y entonces quedaron en lugar de los esqueletos numerosos cristales de tamaño microscópico, de un mineral incoloro. Este último forma prismas y grupos de prismas de un aspecto algo fibroso, lo que quizá se puede referir á un crucero paralelo al eje longitudinal. Estos cristales encierran en algunos casos grafita. Tratando el residuo con acetileno tetrabromado pude aislar un polvo bastante puro, perfectamente blanco, compuesto de estos cristalitos, mezclados con muy poca epido-

ta y de un peso específico aproximadamente de 2.65. A veces los individuos son fusiformes, pero otras veces muestran un perfil claramente octagonal alargado y permiten reconocer, no obstante sus aristas arredondadas, á veces caras, que interpretadas como formas del sistema monoclínico, se podrían designar como ∞P, $\infty \breve{P} \infty$, $\infty \bar{P} \infty$, OP y como pirámides planas ó domas. El carácter óptico de la zona principal se mostró en estas observaciones generalmente como positivo, pero frecuentemente también como negativo, la doble refracción es bastante fuerte; el mineral tiene dos ejes ópticos con una extinción aparentemente recta; el plano de los ejes está perpendicular á la extensión longitudinal de los prismas; los ejes muestran una dispersión clara. Sólo excepcionalmente los individuos alcanzan una longitud de $0.^{mm}3$, por lo general su tamaño es apenas de $0.^{mm}05$. La determinación más exacta de la refracción es impedida por la circunstancia de que los cristalitos están claramente destruídos en su superficie por la acción del ácido acético y cubiertos de una película de ácido silícico amorfo, de modo que aparecen ser de menor refracción que el bálsamo de Canadá. Considerando sus propiedades ópticas tomo el mineral por wollastonita; esto indica también su comportamiento con relación á la influencia de los ácidos, especialmente del ácido acético.[1] El peso específico demasiado bajo se explicaría por el ácido silícico amorfo pegado en el mineral. Las plagioclasas escasas y defectuosamente desarrolladas poseen para α y γ una refracción mayor que el bálsamo de Canadá. El espato calizo del mármol muestra la laminación de gemelos según $-\frac{1}{2}R$.

Como lo demuestra una piedra rodada, estas rocas epidotíferas se encuentran también en la zona de las calizas con Nerineas grafíticas metamorfizadas del Valle del Arco. Al microscópio este mármol muestra en lo general una estructura alotriomorfo-granuda, pero también numerosos individuos intercalados de espato calizo de forma prismática. Especialmente en estos últimos ha tenido lugar un enriquecimiento en carbón, por lo cual se logra separar de la roca tales prismas por medio del ácido acético como fenocristales difícilmente atacables. La caliza contiene además de pyrita bastantes prismas de epidota imperfectamente desarrollados. El mineral incoloro, hasta en granos aislados, raras veces es un poco verdoso; demuestra una doble refracción fuerte sin colores de interferencia, anómalos, el plano de los ejes ópticos está vertical á la zona principal, la dispersión no es notable. No obstante su falta de coloración el mineral no debe considerarse por esto como clinozoisita, sino como epidota sin fierro ó pobre en fierro.

1 Wollastonita de Perheniemi se descompone bastante pronto en el ácido acético diluído caliente; en ácido acético frío se disuelve completamente después de algunos días, quedando un residuo de esqueletos de ácido silícico. Respecto á la descomposición del mismo mineral por sulfato de fierro y sulfato de cobre véase *Centrabl. f. Min.* etc. 1909, p. 163 y 167.

CALIZA CON DIPYRO Y DIOPSIDA

En la cima del Picacho del Abra se encuentra una caliza con Nerineas grafítica algo cristalina, en la cual están diseminadas en todas partes agujas negras opacas de dipyro y cristales imperfectamente desarrollados, en láminas anchas y también opacas de diopsida. Ambos minerales fueron separados de la roca por medio del ácido acético; la roca es también bastante rica en pyrita.

La escapolita forma prismas hasta de una longitud de 6 mm., y de un espesor aproximadamente de 0.5–0.^{mm}75 con un desarrollo equivalente y completamente igual, según ∞P é $\infty P \infty$. Los extremos están en lo general desarrollados de una manera fibroso-dentada, sólo de vez en cuando se observa la indicación de una pirámide muy obtusa. Con mucha frecuencia se ven en los prismas aislados por la intemperie ó en los que fueron tratados con ácido acético en los polos una concavidad ó la salida de un canal axial fino, que quizá corresponde á un núcleo de espato calizo. El desarrollo de los prismas es en lo general bastante regular; sin embargo se hallan también numerosos individuos con caras débilmente arqueadas. Las caras de los prismas tienen un lustre mate y por esto no permiten medidas completamente exactas; no obstante esto doy en seguida los valores medios de la medición de tres cristales.

I	II	III
44°58′	44°59′	44°58′
44 36	44 56	44 50
44 59	45 2	45 20
45 22	44 56	44 45
44 58	45 16	45 7
44 49	—	—
45 3	89 47	89 54
45 15	45 8	45 2

El mineral es muy quebradizo, las agujas se rompen con la mayor facilidad. El ácido clorhídrico caliente no lo ataca notablemente, mientras que el ácido fluorhídrico caliente lo disuelve fácilmente, dejando un residuo carbonoso. El examen químico de la solución demostró la presencia de cal, alúmina y fierro, el último provendrá problablemente de inclusiones de pyrita descompuestas. El estudio microquímico sólo pudo comprobar pequeñas cantidades de sodio; el Sr. Dr. Zimmermann, ayudante en el laboratorio químico de la Academia de Minas de Claustal, encontró por medio del método de Lawrence Smith, 2.65 por ciento de Na_2O,[1] pero nada de po-

1 Como no tenía más que 0.1143 gr. de la substancia á su disposición, y el dipyro examinado, seguramente no fué completamente puro, el resultado del análisis se puede considerar sólo como un valor aproximativo.

tasio. El dipyro de Concepción pertenece pues á las variedades más pobres en sodio de este mineral.[1]

El peso específico es 2.62. El mineral es ópticamente negativo, la refracción de las astillas es aproximadamente 1.55. La coloración negra se debe referir seguramente á inclusiones de carbón y á un poco de pyrita; en astillas delgadas el mineral es transparente y de por sí incoloro.

La diopsida se encuentra en hojitas largas y anchas aproximadamente de 2 á 3 mm. y de un espesor de unos 0.^{mm}5, que miradas superficialmente son de forma oval. Su exterior es fibroso-áspero; estudiándolo más detenidamente se reconoce también con frecuencia una limitación por planos poco claros y ásperos (fig. 2).





Fig. 2. Hojitas aisladas de diopsida de la caliza con dipyro del Pichacho del Abra. Aumento aproximadamente 8.

Como encierran según la lámina microscópica bastante espato calizo, la influencia de la atmósfera ó el tratamiento con ácidos las hace hasta alguna distancia de la superficie porosas y turbias. Láminas paralelas á la extensión máxima de las hojitas muestran una refracción bastante alta, doble refracción mediana y la salida de un eje. El plano principal es por consiguiente $\infty \bar{P} \infty$; el plano del eje se encuentra paralelo con la salida de las grietas de crucero muy bien marcadas indicando estas últimas la dirección de $\mathfrak{c}_1$. La hipérbola muestra en el margen interior la cinta azul característica. El peso específico del mineral atravesado por substancia carbonosa, espato calizo, titanita y probablemente también algo de dipyro es mayor que 3. Las inclusiones de líquido con burbuja contenidas en el mineral no dan reacción con un calentamiento débil. No pude encontrar pruebas para formaciones regulares de gemelos p. e. según $\infty \bar{P} \infty$. El crucero paralelo al eje *c* es bien marcado, además se observa una separación muy pronunciada según $\infty \breve{P} \infty$.

LAS ROCAS DE WOLLASTONITA.

Después del granate la wollastonita es el mineral de contacto más común de la región de Concepción. Aparte de su existencia no muy segura en los mármoles epidotíferos entra en abundancia en la composición de los criaderos metalíferos de Aranzazú, que se discutirán más abajo, se encuen-

1 Salomon Ueber die Kontaktmineralien der Adamellogruppe. *Min. petr. Mitt. N. F. 15*, 1896, p. 159-183.

tra á veces formando peñas acompañado de otros minerales y es por último en las capas metamorfizadas del Portlandiano y del Kimeridgiano el mineral de contacto preponderante, de modo que estas últimas pueden ser designadas en parte como piedras córneas de wollastonita. Ya antes mencionamos su participación en la composición de la cinta de granate.

Muy comunmente se puede ver que la formación principal de wollastonita tuvo lugar en las capas á lo largo de grietas y hendiduras por las cuales fué adicionado ácido silícico ó por las cuales circuló dentro de la roca. Por esto la wollastonita presenta en muchos afloramientos macroscópicos el aspecto de un rellenamiento de grietas.

La localidad más interesante de wollastonita cerca de Concepción es probablemente la masa en forma de dique de un espesor hasta de 4 m. que se observa en la Piedra Cargada en dirección paralela al dique eruptivo y á las capas cretáceas en la cercanía inmediata del primero. El mineral forma, atravesado solamente por un poco de granate de color verde–amarillo y espato calizo, agregados radiales y con fibras paralelas cuyos individuos alcanzan un tamaño de varios centímetros. Un contenido bastante considerable de manganeso de la wollastonita se puede comprobar en la superficie del dique por la coloración parda de los fragmentos descompuestos y por las partes terrosas descompuestas de color pardo obscuro. El mineral muestra al microscopio la situación característica del plano de los ejes y una extinción casi paralela á las fibras. Es claro que esta roca singular de wollastonita sólo pudo formarse con adición de ácido silícico en las capas cretácicas generalmente pobres en ácido silícico. En el detalle se encuentran grietas con wollastonita también en otros tramos de la caliza de la Piedra Cargada.

Igualmente sólo por una adición de ácido silícico puede haberse formado el afloramiento de wollastonita que observé entre el Picacho de Abra y la cumbre del Puerto del Arco cerca del contacto, pero situado todavía en la caliza grafítica y cristalina con Nerineas. La caliza seguramente bastante fracturada y cargada de wollastonita contiene intercalaciones en forma de bolsas ó de diques de wollastonita casi completamente blanca ó gris á causa de las inclusiones de grafita con poca pyrrhotina y chalcopyrita, siendo atravesada por espato calizo. Al lado del último la wollastonita se determina fácilmente en la lámina por estar su refracción ($\alpha = 1.620$, $\gamma = 1.635$) entre ω y ϵ del espato calizo. Ambos minerales cristalizaron al mismo tiempo. En el espato calizo se encuentran con frecuencia inclusiones de líquido, en la wollastonita sólo raras veces. La última muestra muy claramente el crucero perfecto según $\infty \breve{P} \infty$, menos perfecto el de OP y $\frac{1}{2} \breve{P} \infty$ ($\bar{1}02$). El plano de los ejes ópticos se halla en el plano de simetría. El polvo muestra una reacción alcalina viva y se descompone por ácido clorhídrico depositando ácido silícico en capas, fácilmente soluble en una solución caliente de potasa cáustica. Muy poco de granate se encuentra aquí.

Como lo demuestran los análisis de la página 47, las capas del Portlan-

diano y del Kimeridgiano contienen mucha arena cuarzosa repartida por las capas pero poca alúmina, magnesia y fierro. La composición química de las rocas inalteradas corresponde con la mineralógica de sus productos de contacto en cuanto á que los silicatos de cal y alúmina así como de fierro, se encuentran en menor cantidad; las rocas así formadas son en la zona portlandiana piedras córneas con cuarzo y wollastonita, en la del Kimeridgiano rocas calcáreas de wollastonita, ambas en forma de pizarra ó de lajas.

Estudié rocas metamorfizadas del Portlandiano y del Kimeridgiano solamente en la parte meridional de su extensión en los alrededores de Catarroyo y en el valle del Almagre. A pesar de haber recorrido varias veces el camino de Aranzazú, no pude encontrar á lo largo de este la metamorfosis de las capas indicadas por Burckhardt en el plano; probablemente porque el afloramiento está cubierto en este lugar. No dispuse del tiempo necesario para examinar las partes más altas de aquella zona de contacto. Según el plano de Burckhardt se llega á la conclusión que allí la marmorización está limitada á las calizas con Nerineas.

La región entre el Cañón del Almagre, el picacho del Abra y Catarroyo por consiguiente entre el primer valle y el del Arco se compone principalmente de capas invertidas é inclinadas rápidamente hacia el Sureste de la caliza con Nerineas, del Kimeridgiano y del Portlandiano. Como lo deja reconocer el afloramiento de la roca eruptiva en la parte superior del Cañón del Almagre marcado en el plano de Burckhardt, toda esta serie de capas forma solamente una cubierta delgada encima de la masa granodiorítica que aflora en efecto, aunque cubierta en su masa principal por detritus en el valle del Arco hasta alturas considerables debajo de la caliza con Nerineas. La metamorfosis de contacto de esta masa de capas ha de ser considerable según lo dicho.

Las capas metamorfizadas del Portlandiano forman una zona de rocas notables por su dureza en el acantilado austral del Cañón del Almagre. Son rocas negras ó grises que se rompen en fragmentos agudos ó astillas, casi semejantes á pizarras silizosas, con cintas rellenadas de segregaciones claras redondas hasta discoidales de un tamaño desde pocos milímetros hasta varios centímetros, en las cuales al principio se cree reconocer una estructura nodulosa primaria de las capas. Con la lente se observa que las segregaciones pequeñas están formadas de wollastonita radiada; las de tamaño mayor presentan la misma estructura microcristalina que las piedras córneas mismas. Están íntimamente ligadas con la masa principal y representan macroscópicamente partes de la roca más pobres en carbón, pero deben tener también una composición mineralógica distinta, lo que resulta de su más fácil alterabilidad, la cual engendra á veces cavidades que dan á la roca un aspecto que recuerda el Kramenzelkalk. Muchas muestras contienen partículas de pyrita en gran cantidad, las cuales descomponiéndose dan productos de alteración oxidados. La frecuencia de wollastonita en rayos

gruesos formando individuos de varios centímetros de longitud de 1–2 mm. de ancho en las grietas de la roca es notable. El corte transversal de los cristales muy descompuestos es casi cuadrangular y corresponde probablemente á la combinación OP, $\infty P \infty$. Según su naturaleza química y su refracción hay que considerar como wollastonita á ciertos rellenos de grietas radiados y semejantes á wavellita.

Las seis láminas en cuestión dejan reconocer diferentes estados de metamorfismo de contacto. Al lado de mucho cuarzo, comparado con el cual el espato calizo disminuye á veces considerablemente, se observa siempre substancia carbonosa, pyrrhotina ó pyrita, más ó menos wollastonita, un poco de diopsida, por lo general pequeñas cantidades de granate incoloro, rutilo y muchas veces grandes cantidades de titanita. La presencia de los minerales de titanio se explica por el contenido de titanio de las rocas inalteradas que pudo comprobarse por los análisis. Por la participación de mucho material clástico en la composición de las capas primitivas se explica fácilmente la presencia accesoria de un cristalito de jergón.

A veces la transformación consiste sólo en una recristalización del cuarzo al lado de una formación nueva en pequeña escala de prismas aislados de wollastonita y de agregados de diopsida. Inclusiones esparcidas opacas ó generalmente formadas de grafita dificultan el examen detallado de estas rocas con grano tan fino compuestas de granos cuyo tamaño alcanza apenas 0.01 mm. Otro período de la transformación está indicado por la formación de wollastonita radiada que forma pequeñas capas apenas de un milímetro de tamaño y separadas por intersticios de igual ancho. El resto de la roca está impregnado con carbón tan abundante que la lámina resulta negra y casi opaca. Adentro de las bolsitas claras de wollastonita el carbón en ciertas partes sufrió una concentración, siendo entonces algunos prismas de wollastonita semejantes á la chiastolita en su núcleo completamente rellenados con grafita. En las partes poco ó nada alteradas de la lámina, á veces sólo pocos milímetros distantes de las bolsitas de wollastonita, se observan claramente conchitas silizosas de protozoas reconocibles por sus cámaras y sus poros, así como agujas de esponjas silizosas. Esto se explica por el hecho notable y macroscópicamente visible de que la formación de la wollastonita tuvo lugar durante una migración de materia á lo largo de grietitas múltiples finísimas en parte paralelas á la estratificación, en parte oblicuas con ésta, que presentan al microscopio un curso sinuoso, caprichoso, y que se pueden acumular en los puntos de fracturamiento (lám. IX, fig. 1). Un examen minucioso muestra que las bolsitas de wollastonita no están aisladas sino conectadas entre sí por tales grietitas. Por éstas tuvo también lugar la adición de pyrrhotina; en las rocas menos alteradas están rellenadas por lo general con cuarzo y espato calizo. A lo largo de las grietitas se observa al microscopio una decarbonización notable de la roca.

Una roca muy alterada con manchas claras producidas por segregaciones de wollastonita se compone principalmente de cuarzo y wollastonita con

estructura de contacto. La última se presenta tanto fibrosa como en partes irregulares semejantes á esqueletos; sus propiedades ópticas no dejan ninguna duda sobre su naturaleza. Está íntimamente ligada con cuarzo y un poco de espato calizo; el primero forma, por decirlo así, una pasta fundamental de la roca con una estructura que se asemeja á la cataclástica y con extinción ondulosa. En cantidades relativamente grandes se encuentran pyrrhotina en parte cristalizada en forma de láminas exagonales. Granate incoloro se encuentra sólo en pequeñas cantidades; en su interior se observan coronitas de substancia opaca. La diopsida también bastante rara se reconoce por su ángulo grande de extinción; también está á veces rellenada por inclusiones carbonosas. Muy comunes son acumulaciones de granitos de titanita con un pleocroismo claro entre rojo y amarillo–verdoso. Ciertos granitos amarillos pardos con caras muy indistintas y con fuerte refracción, sólo pueden tomarse como rutilo. En ambos minerales se observa el contenido de titanio que puede ser comprobado por análisis en la roca inalterada. A veces se observa también un cristalito de jergón.

Dos análisis hechos por el señor Doctor Zimmermann, de una piedra córnea rica en segregaciones claras y grandes de wollastonita (comp. p. 75) dieron la composición siguiente:

SiO_2	87,78	87,77
Al_2O_3	4,54	6,03
FeO	0,11	
P_2O_5	0,64	
TiO_2	0,79	
CaO	3,77	3,61
MgO	cantidades mínimas.	......
Pérdida al rojo	1,40	1,40
	99,03	98,81

Las substancias alcalinas no fueron determinadas.

A las piedras córneas de wollastonita pertenece también una roca muy compacta del Kimeridgiano que se observa detrás del tiro de Catarroyo en el contacto inmediato. Al microscopio se presenta un tejido irregular de agujas é individuos más anchos de wollastonita; los últimos alcanzan un tamaño de varios centésimos de milímetro y pueden ser determinados con seguridad. Contienen inclusiones de líquido así como el cuarzo que forma en grandes cantidades los intersticios. El espato calizo desapareció también aquí completamente. En cambio se ve un poco de diopsida, bastante titanita y también algo de jergón. Granate sólo se encuentra en pequeñas cantidades.

De las rocas de contacto ya descritas de la zona kimeridgiana y portlandiana se distinguen en parte las capas grafíticas de la cresta entre Catarroyo y la mina La Cruz. El grado de la formación de wollastonita es muy variado sobre todo en esta zona. En parte se observan solamente calizas

arenosas relativamente poco alteradas y algo desagregadas por la descomposición. Una recristalización ha tenido ya lugar. El espato calizo encierra inclusiones de líquido así como el cuarzo en el cual forman coronitas muy claras. La substancia carbonosa se enriqueció en segregaciones manchadas obscuras y se encuentra también como inclusión en el cuarzo nuevamente formado. La pyrrhotina inmigró por grietitas, pero solamente se formó muy poca wollastonita. Del mismo lugar tengo también rocas que pueden designarse como rocas de wollastonita radiada, grafíticas, mientras que en otra parte de la misma muestra se parecen á una piedra córnea compacta negra. Muestras descompuestas que provienen de las capas negras apizarradas de la mina La Cruz dejan ver en su superficie nódulos muy prominentes de un ancho de varios milímetros que corresponden á segregaciones de wollastonita en forma de bolsitas.

De todo esto resulta que la formación de wollastonita en toda la zona kimeridgiano–portlandiana no puede quedar explicada por una simple recristalización de cal y ácido silícico contenidos en las capas. Contra esta suposición se opone su distribución irregular en la zona metamorfizada, en la misma muestra y hasta en la misma lámina. El contenido de ácido silícico de las rocas de contacto como se puede ver desde luego por las grandes cantidades de cuarzo al lado de la wollastonita (con 51.75% SiO_2) y sobre todo por el análisis de la pág. 56 es muy alto, mucho más alto que lo que se hubiera podido esperar según los análisis de las págs. 47, 48 y 49. Correspondería más bien á areniscas calcáreas que á calizas arenosas las cuales deberían contener también en estado metamórfico al lado de cuarzo y wollastonita todavía cantidades notables de espato calizo. Burckhardt no menciona la presencia de areniscas en la formación jurásica, ni yo encontré tales rocas. De esto resulta con mucha probabilidad que el metamorfismo de esta serie de capas sólo tuvo lugar bajo la adición de ácido silícico. En contradicción con esto no se encuentra el hecho que en las rocas menos alteradas se observan todavía grietitas y redes de ellas que pueden explicarse quizá por una contracción, consecuencia de un calentamiento y á lo largo de las cuales tuvo lugar la formación de wollastonita y la inmigración de minerales. Es notable también la adición en pequeña cantidad de sulfuro de fierro en la roca. Se puede decir que la composición de las rocas de wollastonita sólo corresponden por la calidad á la composición original de materia de las capas jurásicas primarias sustituídas por ellas, pero de las cuales se distingue por la cantidad de ácido silícico contenido en ellas.

Las capas normales del Kimeridgiano y Portlandiano contienen en parte cantidades considerables de ácido fosfórico y de fluor (comp. p. 48), por esto me llamó mucho la atención que no pude comprobar con seguridad en ninguna de mis láminas la existencia de apatita. El análisis (p. 56) también da para la roca del contacto solamente un contenido muy pequeño de fosfato. En una lámina encontré ciertos agregados incoloros de mucha refracción que no pude determinar con seguridad y que quizá pudieran ser

apatita. Pero nunca pude encontrar este mineral en cantidades considerables. Esto es tanto más raro que ya durante mis estudios y colecciones en el campo me preocupé mucho por la existencia eventual de fosfatos en aquella zona de contacto. La suposición que los rellenos que se encuentran en las piedras córneas y que contienen en parte fierro pudieron consistir más ó menos de fosfatos no se confirmó. Al Sur de Catarroyo indicó Burckhardt en su plano una mina de turquesa.[1] En aquel lugar durante el tiempo de mi visita la pequeña mina de cobre de La Cruz explotó minerales secundarios de cobre muy cerca del contacto de las capas kimeridgianas con la granodiorita. De aquel lugar poseo buenas muestras de allofana de las cuales hablaré más adelante. No pude hallar turquesa y mi guía muy conocedor de la localidad, un peón, tampoco supo nada de la existencia de dicho mineral. Como el Sr. Burckhardt me asegura expresamente la presencia del mineral[2] no lo pondré en duda; pues se explicaría por el contenido de fosfatos en las capas y quizá por la descomposición del feldespato de la granodiorita, el cual también dió la alúmina para la allofana. En las inmediaciones de La Cruz en el lugar donde una vereda de Cabrestante á la mina pasa por la cresta, encontré en una cata antigua insignificante, costras delgadas de un mineral azul claro de esmalte botroide que rellena las grietas de las pizarras de wollastonita. Es insoluble en ácido clorhídrico, sólo lentamente soluble en potasa cáustica, isotropo, de fractura conchoidal y resultó ser ópalo. Fragmentos aparecen de color pardo claro en la luz incidente, azul del cielo en la luz reflejada. El ópalo se formó seguramente por la alteración de la wollastonita; su color parece provenir de adiciones orgánicas coloidales.

1 Esta opinión del autor es errónea, en la carta de Burckhardt se encuentra sólo la indicación de la existencia de turquesa, pero no la de una mina de este mineral. (*Nota de los traductores.*)

2 La localidad principal de turquesa de la región es la de Santa Rosa, cerca de Mazapil. El químico del Instituto Geológico de México Dr. V. von Vigier, había empezado los análisis de aquella turquesa y de la de Catarroyo; sus investigaciones no se terminaron desgraciadamente por su muerte prematura. El Sr. Dr. Burckhardt me escribe sobre este asunto:

"El análisis de una muestra de Santa Rosa dió:

H_2O á 100°	1,00
H_2O á más de 100°	18,33
CuO	8,84
SiO_2	1,70
Al_2O_3	31,60
P_2O_5	34,89
	96,36

MnO, CaO y MgO no se determinaron.

La parte analizada es azul y bastante dura, pero en la misma muestra se encuentran alrededor del núcleo analizado masas mucho más blandas y blanquizcas, seguramente alteradas, evidentemente procedentes del núcleo por descomposición. Estas últimas no se pudieron analizar completamente; contienen P_2O_5 pero sólo poco.

En Catarroyo se encuentran completamente las mismas masas blanquizcas, las cuales contienen aquí sólo huellas de P_2O_5. Basándonos en todo esto creemos que las masas blanquizcas representan los productos de descomposición de las turquesas." Parece que no hay análisis de estas últimas.

LAS ROCAS DE GRANATE Y VESUVIANITA EN EL CONTACTO INMEDIATO

Las rocas de granate y vesuviana ambas con espato calizo y otros silicatos subordinados como diopsida y escapolita y muchas veces con un contenido por lo menos pequeño de chalcopyrita, parecen rodear toda la periferia del macizo granodiorítico y están además ligadas con masas pequeñas de roca eruptiva. El granate tiene una repartición mucho mayor que la vesuviana.

Fragmentos de roca de granate casi incolora, de color verde amarillo ó más raras veces pardo de los cuales fué lixiviado el espato calizo y los cuales muestran á consecuencia de esto una estructura drúsica, se encuentran en gran cantidad en el Valle del Arco juntos con fragmentos de roca de vesuviana muy semejante; forman allí en partes las acumulaciones de pedruzcos que cubren la parte superior de la pendiente. La roca de granate es de dos clases. El granate rojo–pardusco también amarillo–pardusco ó rojo color de jacinto, está íntimamente ligado con ortoclasa granulosa, aparentemente con plagioclasa fibrosa así como con cuarzo, hornblenda y epidota y muestra una estructura conchoidal perfecta, la cual permite que se puedan sacar de los cristales núcleos de otro color y limitados por caras. Estos fragmentos se parecen á la inclusión en la granodiorita descrita en la pág. 21 que se halla cerca de la Fundición vieja. El granate amarillo–verdoso, á veces muy poco colorido, en las drusas está á su vez atravesado por espato calizo y pyritas. Los primeros fragmentos que se encuentran con menor frecuencia parecen derivarse de inclusiones, los últimos representan el material del contacto inmediato más allá de la cinta de granate. Nunca observé en el Valle del Arco cristales de granate y vesuviana en la misma muestra; pero el examen microscópico de rocas compactas de granate y vesuviana comprobó la presencia simultánea de ambos minerales.

El granate muestra ∞ 0 (110) y 202 (112), generalmente combinados y á veces predomina una, otras veces otra de las caras. Por lo general predomina en cristales pequeños 202, en grandes ∞ 0, pero esto no constituye de ningún modo una regla; sólo una vez observé en un cristal pequeño las aristas de 202 aparentemente obtusas por $\frac{3}{2}$ 0 (323); pero no se pudo decidir si se trataba realmente de esta cara ó de un cambio oscilatorio de 202.

Cierto número de muestras de la zona inmediata del contacto ha sido examinada en láminas.

En la Piedra Cargada, calizas cretácicas son atravesadas por un dique eruptivo el cual, como ya lo mencionamos en la pág. 31, ha sido transformado con intensidad por reabsorción de cal, y en parte hasta en una roca de granate. Como en donde la zona marginal de la roca eruptiva está transformada en roca de granate, es decir, la cinta de granate, no hay una separación clara entre ella y la roca de granate formada de la caliza y como la última íntimamente ligada con la cinta de granate sólo empieza en don-

de las pseudomorfosis de plagioclasa ya no existen, así también en la Piedra Cargada es casi imposible separar en el campo la roca compacta intensamente alterada del dique de la roca de granate eruptiva.

La Piedra Cargada es un arrecife de roca granatífera que se presenta allí con una potencia de 3 m. por lo menos. Cerca de la estación se catearon minerales de cobre y se produjo así un afloramiento no muy claro. Tomo las notas siguientes literalmente de mi libro de apuntes, del cual reproduzco también la fig. 3.

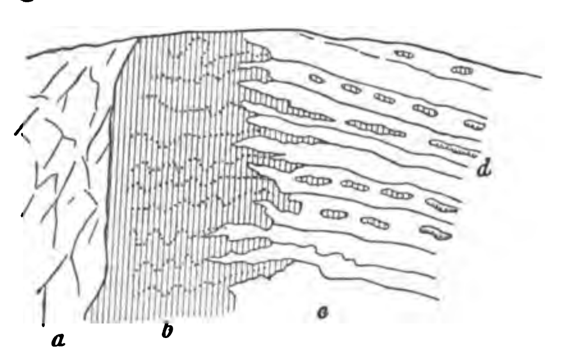


Fig. 3. Corte en la Piedra Cargada.—*a.* dique eruptivo sumamente alterado por reabsorción de cal.—*b.* roca de granate granulosa ó compacta con indicación de las cintas y capas primarias.—*c.* caliza cretácica estratificada.—*d.* pedernal metamorfisado en roca de granate: á la izquierda completamente, más lejos á la derecha sólo exteriormente. Escala 1:100.

"En la cata de cobre. Algunos metros de masas de roca de granate con huellas de cobre, entre ellas una parte calcárea de un metro de grueso y de 2 á 3 metros de largo, solamente marmorizada y mostrando á lo largo de ciertas rayas y riñones una transformación completa ó regional en granate. Algunas partes de la caliza se transforman con más facilidad que otras. La roca de granate misma muestra estrías conforme á la estratificación y los bancos y lechos anteriores, presenta huecos por la lixiviación de $CaCO_3$ y contiene también restos no alterados de caliza. La transformación de la caliza en granate se hace también en bolsitas, el límite entre la roca de granate y la caliza es irregular, escotado y entonces parece que en la transformación tomaron parte líquidos disolventes. En el rumbo la tranformación es interrumpida probablemente, el mismo banco calcáreo grafítico es en parte solamente poco alterado, en parte á pocos decímetros de distancia transformado en granate rico en drusas con espato calizo de grano grueso. En el límite entre la roca de granate y la caliza la estructura en capas es poco clara pero la estratificación de la caliza se puede reconocer todavía con claridad por las cintas de la primera." Esta ha sido la primera impresión que tuve de esta formación de contacto.

De mucha importancia para la comprensión de la metamorfosis en la región de Concepción es el hecho de que precisamente los riñones ó intercalaciones de pedernal contenidos en los horizontes más distintos de la serie de calizas fueron transformados primeramente en roca de granate y que esta transformación se realizó desde afuera hacia adentro. La explicación más

sencilla para esto podría ser la suposición de que los pedernales son solamente concreciones ricas en ácido silícico de una caliza arcillosa y de por sí tan ricos en cal y arcilla que por transposición molecular pudo haber tomado su origen desde luego el granate. El resultado del examen químico está en desacuerdo con esto.

Intercalaremos aquí algunas consideraciones sobre estas inclusiones de pedernal. Todos los sedimentos alrededor de Concepción y también más al Oeste en la región de Mazapil, en donde se encuentran en condiciones completamente normales y sin metamorfosis de contacto contienen un poco de ácido silícico sea en forma de una mezcla arenosa ó sea en la de pedernal. Este último se encuentra en nódulos de tamaño muy distinto y en lentes gruesas hasta varios centímetros, así como en cintas semejantes á pizarras silizosas tanto en las calizas con Nerineas como sobre todo en las capas del Cretácico medio. Por lo menos en parte tomaron su origen por la transposición y concentración del contenido original de ácido silícico en las calizas, siendo entonces á veces la cal completamente sustituída por ellos. Considero como una prueba para la transposición secundaria del ácido silícico en las calizas el hecho de que como residuo de una caliza mesocretácica disuelta de Mazapil obtuve solamente cristalitos pequeñísimos de cuarzo muy bien definidos en ambos lados, pero nunca ácido silícico en forma orgánica como p. e. de conchas de radiolarias. A veces la sustitución de la caliza por la inmigración del ácido silícico tuvo lugar en dirección centripetal y en forma de costras. de modo que por la descomposición de la caliza se engendran masas de pedernal redondas y huecas ó hasta tubiformes recordando algo á huesos huecos. En un pedernal de Mazapil observé una impresión de una amonita y una concha de un bivalvo; la última ha sido transformada en ácido silícico.[1]

La formación de pedernal tuvo lugar antes de la metamorfosis de contacto.

Los pedernales consisten probablemente por lo general de ácido silícico casi puro con un poco de substancia carbonosa. Examiné dos muestras del Cretácico medio desde este punto de vista. Una de ellas de la Sierra de Mazapil, fué lavada primero con ácido clorhídrico para quitar de las grietas el espato calizo quizá presente, entonces pulverizada y después tratada con ácido clorhídrico, sin que haya resultado una pérdida de peso. Después de un tratamiento prolongado con ácido fluorhídrico quedó un polvo colorido por una substancia carbonosa parda que dió después de calentar al rojo un residuo muy pequeño colorido de rojo por óxido de fierro. Otra muestra proviene de las inmediaciones del contacto de la Piedra Cargada. El pedernal muestra en grietas un poco de wollastonita que ha sido quitada antes

1 De un modo muy semejante se habrán formado los pedernales también exteriormente semejantes que se encuentran en grandes cantidades en el Muschelkalk y en las calizas de Partnach de los Alpes de Baviera. En el Muschelkalk de la región de Partenkirchen encontré en ciertos lugares Terebratulas en gran cantidad, cuyas conchas eran total ó parcialmente silicificadas.

del examen. Al ahumar con ácido fluorhídrico y sulfúrico y calentar al rojo quedó un residuo de más ó menos 3 por ciento de la substancia.

La transformación del perdernal en roca de granate sólo puede haberse efectuado por una inmigración de cal, alúmina, óxido y oxídulo de fierro en los riñones. En favor de esto habla también la transformación dirigida de afuera hacia adentro.

Las láminas de la roca de granate compacta de la Piedra Cargada muestran sobre todo individuos grandes de granate con fenómenos excelentes de la anomalía óptica, además diopsida y cuarzo, en parte también espato calizo, apatita y vesuviana.

El granate que prevalece tiene una tendencia á formar drusas limitadas por caras y á desarrollar cristales. Es casi incoloro. La anomalía de los cristales claros como agua se observa en los fenómenos siguientes que corresponden en lo general al tipo dodecaédrico de ellos pero que son probablemente influenciados por la presencia de 202.

1. Cortes exagonales más ó menos perpendiculares al eje de simetría trigonal. El plano de la sección se divide á veces en un campo central y seis campos laterales trapezoidales; en este caso el campo central forma también un exágono. Con más frecuencia los campos situados detrás de los planos dodecaédricos no alcanzan los lados del campo central, de modo que el último presenta la forma de un polígono con menos de seis lados, por ejemplo de un rombo.

El campo central resultó ser generalmente isotropo (fig. 4). De los campos laterales muestran cada dos opuestos más ó menos una extinción simultánea. La división en campos que se forma entre los nicols cruzados es por

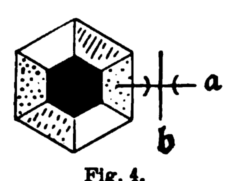


Fig. 4.

lo general no muy bien limitada y al girar la preparación la obscuridad puede caminar de un modo onduloso de campo en campo, y del mismo modo de las márgenes hacia el centro, de manera que allí se ve sólo en ciertas posiciones un campo obscuro que se vuelve claro mientras que se obscurecen por rotación varios campos marginales. Entre los últimos se observan por lo general líneas obscuras diagonales que cambian de posición á veces al girar, pero que quedan en lo general obscuras y en la misma posición. A la luz polarizada simple no se observa nada de particular en el lugar de ellas. Adentro de los campos se suceden desde afuera hacia adentro rayas con refracción y doble refracción diferente. Por lo general la dirección de la elasticidad óptica máxima es perpendicular á la proyección de los planos dodecaédricos; los campos marginales dan una imagen poco clara biaxial del eje.

En vez de los seis campos marginales aparece á veces un número menor pudiéndose juntar dos triángulos ó trapecios cercanos en un campo único ópticamente más ó menos homogéneo.

2. En cortes regulares cuadrángulares más ó menos paralelos á $\infty O \infty$ los fenómenos son análogos. El cuadrado está dividido en cuatro triángulos ó en cuatro trapecios y en un plano medio cuadrado que por su parte es á veces completamente isotropo (fig. 5). Los campos marginales opuestos uno

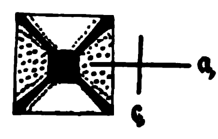


Fig. 5.

al otro se extinguen casi al mismo tiempo; las estrías obscuras que se observan entre los nicols cruzados entre ellos pueden ensancharse al girar y de ellas se propaga entonces también un obscurecimiento onduloso de los campos. La elasticidad óptica mayor se encuentra de nuevo en la dirección perpendicular á la proyección de los planos dodecaédricos.

Los colores de interferencia del granate son más bajos que los del cuarzo. Una vez observé que una zona con mayor doble refracción fué al mismo tiempo la de menor refracción para ambos rayos. En una preparación el granate se halla rellenado y turbio como la diopsida por inclusiones pequeñísimas densamente aglomeradas cuya acumulación zonal produce el aspecto de una estructura conchoidal.

Los cortes de la diopsida incolora muestran muchas veces extremos de pirámide aguda. La oblicuidad de la extinción llega hasta 45°. Muchas veces el mineral se observa en segregaciones de forma de esqueleto íntimamente ligado con granate.

El cuarzo aparece como un relleno de drusas entre los silicatos y podría considerarse primeramente como impregnación más moderna. Pero que ha sido formado por el mismo proceso que aquellos, resulta del hecho de que incluye numerosos granos y en parte cristalitos libres de tales ó se liga íntimamente con ellos como en la estructura de contacto.

Una de las muestras examinadas (lám. IX, fig. 2) contiene todavía espato calizo en abundancia y en él se encuentran incluídos los granates anómalos transparentes como agua, descritos ya y agregados radiales de vesuviana. Esta se reconoce por su eje único, su carácter óptico negativo, su refracción débil y forma columnitas de la combinación ∞P, $\infty P \infty$ con extremo obtuso–piramidal. En la lámina tiene un color amarillento con pleocroismo marcado $\omega > \varepsilon$. El espesor de las agujas es de algunos centésimos de milímetro. Terminan con límite marcado en los cristales de granate. Estos son aquí enteramente libres de inclusiones aparte de algún fenocristal ocasional de espato calizo. El espato calizo es muy rico en cavidades tubiformes rellenados por lo menos en parte con líquido y muestra una estruc-

tura fibrosa torcida; las agujas de vesuviana incluídas en él están varias veces fracturadas y quebradas.

En las muestras pobres en espato calizo y compuestas de granate y diopsida la apatita forma un componente notable. La observé solamente en láminas. En ellas se ven cortes exagonales no muy claros que dan netamente la imagen del eje y además los cortes también imperfectos de la zona prismática. Por sus dimensiones mayores, por su contorno no muy claro y por el tamaño de las inclusiones de líquido contenidas en ella que dan un aspecto escorioso–poroso á los cortes se distingue esta de la apatita, de la granodiorita y más bien se parece á la de la cinta de granate. Las condiciones ópticas no dejan ninguna duda respecto á la naturaleza del mineral.

Una cantidad sorprendente de roca de granate se encuentra en el contacto de una intrusión de granodiorita casi en el límite entre las capas del Portlandiano y del Cretácico en el camino de Aranzazú. Aquí como en el Puerto del Arco la cinta de granate está muy bien formada. Las capas de la roca de granate misma muestran un efecto de presión lateral en pequeños pliegues de un centímetro de largo, las calizas adyacentes un encorvamiento fuerte y un plegamiento. En la primera los pedernales transformados se reconocen claramente por su estructura mucho más compacta; en ellos se observan fracturamientos y separaciones transversales.

Una roca del contacto inmediata á la granodiorita cerca del afloramiento de vesuviana en el camino de Aranzazú, es aparentemente una roca de granate compacta pardusca; la roca eruptiva misma contiene un poco de granate habiendo sido transformada parcialmente en epidota. Aquella roca de granate está formada por un granate íntimamente ligado con un poco de diopsida incolora y de espato calizo como se observa en la estructura de contacto. El granate tiene una anomalía óptica débil y muestra á la luz polarizada simple, un cambio zonal de conchas con refracción diferente. La diopsida contiene inclusiones de líquido; en un macle que se extingue simétricamente según ∞ P ∞ es $c : \mathfrak{c}$ en promedio $= 38°$, mostrando un corte perpendicular al plano de la simetría un eje con dispersión muy clara $\rho > \nu$. La apatita también parece ser muy escasa.

Una roca de granate y diopsida del socavón general de la mina de Aranzazú llama la atención porque deja reconocer de un modo excelente é indudable la transformación y sustitución de una roca de diopsida por un granate inmigrado (lám. IX, fig. 3).

La muestra aparece como roca de granate con un poco de mineral de cobre, en parte compacta como roca córnea, en parte cristalina. De la última se destacan aparentemente cristales, pero de hecho son nada más planos de separación de granates conchoidales á veces paralelos con el dodecaedro. Entre los planos de separación se observan películas delgadas de espato calizo. Restos grandes y pequeños de diopsida gris–verdosa (salita) se encuentran esparcidos por la roca de granate; con la lente se reconoce que están atravesados por venas de granate. En un lugar se formó un de-

pósito cuantioso de mineral de cobre con un poco de hematita y mucho cuarzo; allí la diopsida está transformada en amfíbola gris-verdosa clara, al microscopio irregularmente fibrosa, débilmente pleocroítica.

La sustitución de la diopsida por el granate se puede seguir muy bien con aumento débil en la lámina; se observa en individuos prismáticos anchos radialmente ordenados y largos de más de un centímetro. En la lámina aparece incolora habiéndose determinado la oblicuidad de extinción mayor c: como 48°. Láminas de gemelos son frecuentes. El fenómeno del espato calizo atravesado en abundancia, en gran parte bajo la forma de fenocristales mínimos, parece ser primario, dejando aparte numerosas vetas de espato calizo indudablemente moderno. En cambio también se ven algunas masas de espato calizo atravesadas por agujas y agregados de diopsida.

El granate es en la lámina de un color amarillo claro como casi todos los granates encontrados en la rocas del contacto de Concepción. Las partes de mayor tamaño son agregados de individuos netamente anómalos y conchoidales. Además de varios fenómenos ópticos estas conchas se reconocen en parte por sus inclusiones de espato calizo ó por infiltraciones secundarias pardas á lo largo de planos de separación. A lo largo del límite de tales agregados de granate con la diopsida se observan parcialmente partículas abundantes de chalcopyrita ó una zona muy bien límitada hacia dentro que parece turbia por inclusiones inumerables ya con aumento débil. Estas inclusiones se componen de aglomeraciones por lo general irregulares, alargadas, translúcidas, de color pardo obscuro de una substancia semejante á polvo y alcanzan diámetros transversales de 0.015 mm. y más; al lado de ellos se ven también cavidades de una forma muy parecida. El ancho de esta zona marginal es por lo general de 0.05 mm. Hacia el interior del granate la zona parece por lo general netamente cortada por un límite anguloso. El granate es en aquella zona completamente isotropo de modo que el curso de ella puede reconocerse aun entre nicols cruzados.

Desde las segregaciones de granate de algún tamaño atraviesan la diopsida venas de granate numerosas á veces casi paralelas, otras veces juntándose en un curso arqueado conectadas por vetas transversales ordenadas en una red irregular con mallas estrechas. Se juntan en bolsitas más anchas de las cuales irradian de nuevo venas de granate. La diopsida aparece como impregnada con substancia de granate y desaparece á veces entre ella hasta los últimos restos desgarrados. La penetración de la pyroxena por el granate, no es de ningún modo la consecuencia de un fracturamiento anterior de la primera, ésta en el momento de la inmigración de granate no ha sido una brecha; pues las partes del mismo individuo de pyroxena separadas ahora entre sí por muchas venas de granate muestran todavía la misma orientación y no dejan reconocer los menores indicios de un movimiento. Ciertos lugares en los cuales se ven bolsitas de granate de mayor ancho ofrecen por esto á la primera vista la imagen de una penetración granofírica; pero no es posible pensar en ello en vista del fenómeno general.

La formación del granate tuvo lugar sólo en casos raros en la dirección del crucero prismático. A veces las venas de granate tienen un curso perpendicular á éste ó por lo general en ángulos agudos en parte apenas de 5°. En muchos individuos se observan varias direcciones que se cortan, pero entonces una preponderante se hace notar por lo continuo de su curso, el gran número y el paralelismo de las venas de granate que le siguen. En varios cortes cercanos de diopsida se nota entonces una orientación diferente de las venas. Muy bien resalta todo este fenómeno entre nicols cruzados. La relación entre ambos minerales se caracteriza mejor diciendo que el granate se ha ido introduciendo por corrosión en la diopsida; para la dirección de su avance parecen haber sido de importancia los planos de separación á lo largo de los cuales se tocaron los individuos de diopsida ordenados en rayos divergentes, pero en el caso de que las venas de granate forman ángulos grandes con el crucero, es probable que hayan desempeñado cierto papel las direcciones de menor resistencia química.

De un modo semejante que por el granate, la diopsida está sustituída á veces por el cuarzo. Este se encuentra parcialmente como acompañante del granate y lo envuelve hacia la diopsida formando así en las venas en cierto modo las salbandas. Se extiende entonces probablemente más que aquél y sustituye con frecuencia á la diopsida tan completamente, que sólo se encuentran esparcidos por el cuarzo agregados fibrosos orientados del mismo modo que ella. Con el granate y cuarzo tuvo lugar quizá un depósito más moderno de un poco de espato calizo y chalcopyrita.

La roca de granate y diopsida ahora descrita ofrece un nuevo ejemplo excelente de una segunda adición de agencias depositadoras de granate en rocas ya formadas á lo largo de la zona de contacto. Sorprende la falta de silicatos de magnesia típicos que se esperarían en la transformación descrita de la diopsida. Se podría quizá considerar como tal la tremolita (véase arriba) que se presenta en la muestra como producto de alteración de la diopsida, pero que no se observa en la lámina como acompañante necesario del granate. Quizá se puede dar una idea del curso de la transformación por el esquema siguiente, en el cual ciertamente no puede indicarse la combinación especial bajo la cual la alúmina y el óxido de fierro influyeron en la diopsida:

$$3\,CaMg(SiO_3)_2 + (Al, Fe)_2O_3 = Ca_3(Al, Fe)_2(SiO_4)_3 + 3\,MgSiO_3$$
$$\text{y } 3\,CaMg(SiO_3)_2 + 6\,MgSiO_3 = 3\,CaMg_3(SiO_3)_4$$

Aquí mencionaré además la única roca de contacto verdadera que recogí en la región de Concepción que contiene fósiles reconocibles aun sin lente; es una roca de cuarzo, granate y diopsida del terrero de la mina San Carlos cerca de Aranzazú. La muestra consiste en gran parte de una mezcla que describiré más adelante que contiene menas y está formada por espato calizo, cuarzo, un poco de granate amarillo y wollastonita radiada. En ella yacen partes irregulares pardo-claras de una roca completamente

compacta, en ciertos lugares atravesada por venas de espato calizo y también con inclusiones de granate amarillo, tetraedrita, bornita, y chalcopyrita. Están rellenados con fósiles que se asemejan á caracoles ó recuerdan grandes Globigerinas. Al microscopio se ve que la roca es una mezcla de grano muy fino compuesta de diopsida radiada, granate y cuarzo. En el lugar de las conchas calcáreas se introdujo principalmente granate, el interior se encuentra á veces rellenado por agregados de grano más grueso de los minerales mencionados ó bien consiste, como lo enseña la muestra, de espato calizo. En ciertas partes los fósiles han sido sustituídos casi completamente por mena, cuarzo y granate amarillo.

Como lo muestran los análisis de la cinta de granate (pág. 41) y el análisis que mencionaremos más adelante del granate de El Carmen, los granates de las formaciones de contacto de Concepción pueden ser considerados en su mayor parte como granates de cal y fierro más ó menos ricos en alúmina (aplom).

La vesuviana se formó en las mismas condiciones que el granate que la acompaña, pero el último tiene una distribución mucho más extensa y se observa á distancias mucho mayores de la roca eruptiva. Encontré la vesuviana aflorando sólo en las inmediaciones del contacto como componente de la roca de granate de la Piedra Cargada y en cantidades mayores en el mármol de la localidad, ya varias veces mencionada, en el camino de Aranzazú. En pedruzcos rodados se encuentran con frecuencia en el Valle del Arco y en el Cañón del Almagre; forma además un componente de la piedra córnea de cal y silicato compacto extraída de la mina Cabrestante.

En el Valle del Arco se encuentran entre los escombros de roca de granate fragmentos de roca de vesuviana drúsica muy semejantes á la primera. Los cristales de color de aceituna, apenas de un centímetro de largo, prismáticos cortos, más raramente con caras piramidales preponderantes, suelen estar pegados con las caras prismáticas. Revisten las grietas de la roca semejante á piedra córnea de cal y silicato que consiste probablemente en su mayor parte de vesuviana ó atraviesan el mármol en una red de mallas angostas de venas. Por la descomposición del mármol se forma un tejido especial de varillas con intersticios poliédricos. Caras preponderantes son (110) ∞ P; (111) P; (100) ∞ P∞; á estos se agregan muchas veces (001) OP; (101) P∞; (311) 3P3; (331) 3P y (310) ∞ P3. En muchas muestras la riqueza de caras de los cristales es mayor que en otras.

Se tomaron las medidas de 7 cristalitos; en seguida doy los valores medios de las medidas.

(101) (001) =	P∞ : 0P	28°24½′	28°32′	28°26′
(111) (110) =	P : ∞P	52 17	52 22	
(101) (100) =	P∞ : ∞P∞	61 13		
(111) (101) =	P : P∞	25 12	25 3	25 15
(111) (1$\bar{1}$1) =	P : P	74 50		
(111) (331) =	P : 3P	28 45	29	

(111) (311) = P : 3P3	29°17½′	29°49′	29 16′
(100) (311) = ∞P∞ : 3P3	35 22	35 46	
(100) (310) = ∞P∞ : ∞P3	26 37		
(110) (310) = ∞P : ∞P3	18 22½		

Vesuviana pardo-clara radiada se encontró como relleno de grietas en un canto rodado del Cañón del Almagre. Está acompañada de chalcopyrita y pyrrhotina.

Por el camino de Concepción á Aranzazú, construído por la Compañía minera, se descubrió arriba de la cascada el afloramiento más rico de vesuviana de la región. Desgraciadamente nadie se preocupó ni de este ni de otros lugares ricos en minerales y no se hicieron colecciones, y lo que ahora se puede sacar de la roca triturada por la dinamita no vale la pena. La localidad se distingue por fenómenos de contacto muy intensos. La caliza está atravesada por apófisis finos de granodiorita, en parte también transformada en la roca de granate y diopsida descrita antes; la roca eruptiva misma está rellenada por granate de color diferente por lo general negro-pardusco y contiene las segregaciones antes descritas de plagioclasa fibrosa (véase pág. 28). Los fragmentos que examiné muy incompletos de cristales dejan reconocer que la vesuviana se encontraría en cristales largos de varios centímetros al abrir con cuidado la localidad. Está acompañada por espato calizo azul, del cual se deja aislar por ácido también en forma de cristalitos bien definidos casi microscópicos. El espato calizo está repleto de inclusiones microscópicas de ácido carbónico líquido [1] de la cual se puede comprobar la existencia por calentamiento; decrepita vivamente al calor y antes es fosforescente con luz blanquizca.

La vesuviana es por lo general pardo-clara, á veces también verde. Para el análisis sirvió el material de la variedad parda, escogido con la lente; el Sr. Prof. Dr. Dittrich encontró la composición siguiente, de la cual se pueden calcular los números moleculares indicados al lado:

		Calculado á 100	Números moleculares	
SiO_2	36,04	35,90	0,5943	0,6032
TiO_2	0,72	0,72	0,0089	
Al_2O_3	15,62	15,56	0,1522	0,1756
Fe_2O_3	3,75	3,75	0,0234	
FeO	0,65	0,65	0,0090	0,7511
MgO	3,88	3,87	0,0958	
CaO	36,40	36,26	0,6463	
Na_2O	0,34	0,34	0,0055	0,1657
K_2O	0,08	0,08	0,0008	
Perdida al rojo (H_2O)	2,87	2,87	0,1594	
	100,39	100,00		

1 Al acercar á la inclusión una lámina de platino calentada se aleja primeramente la burbuja de la fuente de calor y entonces desaparece. Al enfriarse reaparece en el mismo lugar para volver entonces muy lentamente á su lugar anterior á lo largo de la pared que la encierra.

El agua se determinó por un fuerte calentamiento al rojo en el crisol de platino. Manganeso no existe, tampoco fluor se pudo comprobar.

Del análisis se calculan las proporciones siguientes de los elementos:

R_{IV}	R_{III}	R_{II}	R_{I}	O
1,82	1,06	2,27	1	8,00

y con esto la vesuviana de Aranzazú entra muy bien en la serie establecida por Weingarten.[1]

Una caliza cretácica, transformada de la mina de Cabrestante, resulta ser una piedra córnea con escapolita y vesuviana. Muestra en grande una especie de estructura en cintas, es cristalina muy fina hasta completamente compacta. El examen microscópico tropieza con dificultades por estar los componentes íntimamente ligados. En lo principal parece ser una mezcla de vesuviana de grano grueso, escapolita y granate con granitos de diopsida y titanita, inyectada con un poco de feldespato; además se reconoce epidota de color verde claro, pyrita y en drusas y grietas también un poco de espato calizo. Este último es de nuevo rico en inclusiones de ácido carbónico líquido.

La vesuviana posee una estructura zonal excelente que se reconoce por la doble refracción anómala; en la lámina muy delgada muestra el mineral, que se encuentra irregularmente esparcido en forma de nubes, por lo general colores de interferencia grises y pardo-grises. El carácter de la doble refracción es negativo. Al lado de la vesuviana forma, además, un segundo mineral tetragonal un componente principal de la roca; es la escapolita que se ve en la lámina, sobre todo aglomerada en algunas capas de la piedra córnea. Sus prismas octogonales son ópticamente negativos con un eje y muestran una doble refracción mayor que la de la vesuviana; en los cortes muy delgados se observó todavía el azul verdoso de segundo orden. Se presenta con menos refracción que la última, siendo su refracción un poco más alta que la del bálsamo de Canadá y más ó menos igual con la refracción media del espato calizo con el cual está frecuentemente ligada. Los cortes octogonales dejan reconocer con claridad variable el crucero según ambos prismas. No raras veces la pyrita encierra á las escapolitas ó estas últimas envuelven por su parte á la primera. Una coloración parda visible en la lámina que se observa también en la vesuviana, parece estar en conexión con el contenido en carbón de la caliza transformada. La existencia de wollastonita no se pudo comprobar en la lámina.

En la muestra se reconoce con la lente partes de un mineral incoloro en fibras finas que posee al microscopio los caracteres de la plagioclasa fibrosa antes descrita. Se tratará pues de inyecciones de feldespato desde la ro-

1 P. Weingarten, Über die chemische Zusammensetzung und Konstitution des Vesuvian. Inaug.-Diss. Heidelberg 1901. Ref. Centralbl. f. Min. etc. 1902. p. 726-730.

ca eruptiva vecina. Plagioclasa típica con laminación de gemelos no la encontré. La plagioclasa fibrosa está atravesada sobre todo por diopsida y titanita.

LOS CRIADEROS METALIFEROS

A aquellas materias que inmigraron en el contacto desde el magma granodiorítico en el panino pertenecen, sobre todo, también sulfuros y óxidos de fierro y sulfuros de cobre al lado de otras combinaciones de metales pesados secundarios. Huellas de cobre se encuentran probablemente en todas partes en el contacto, catas se encuentran en varias partes y algunos tiros bastante profundos hoy abandonados dan cuenta de las esperanzas frustradas de encontrar á la profundidad minerales más ricos de cobre; pero, en varios lugares pudo desarrollarse hace un tiempo más ó menos largo una explotación minera muy provechosa también bajo aquellas condiciones. La mayor parte de las minas más importantes en el tiempo de mi visita en la región de Concepción fueron minas de cobre ó fierro en el contacto inmediato. Además existen varias minas de plomo y de zinc fuera de la zona de contacto, que trabajan sobre criaderos en la forma de vetas quizá también metasomáticos en la formación calcárea, de los cuales no me pude ocupar detalladamente durante el tiempo limitado de mi estudio. Me parecían por lo general no pasar mucho del primer estado de trabajos de exploración; desde el punto de vista mineralógico merecen interés por la presencia de bonitas menas secundarias de las cuales mencionaré algunas más tarde.

LOS CRIADEROS DE CONTACTO

Las minas de cobre de Concepción del Oro se pueden dividir en dos grupos según su situación y el carácter mineralógico de sus criaderos. Designaré como grupo oriental las minas Cabrestante, Catarroyo, El Promontorio, Las Animas y El Carmen; como occidental las minas muy vecinas entre sí y más ó menos contiguas de Aranzazú. Ambos grupos de criaderos están caracterizados por la presencia de chalcopyrita con abundante granate; por lo demás se observan varias diferencias mineralógicas más ó menos notables.

Cabrestante y Catarroyo trabajan en el contacto inmediato de la granodiorita con las calizas cretácicas de la masa sedimentaria oriental; vecinas á ellas se encuentran las minas Los Azules y La Cruz, sobre las cuales no puedo decir gran cosa porque en aquel tiempo sólo habían alcanzado profundidades muy pequeñas y sólo habían explotado minerales de la zona superficial. Los criaderos del Promontorio y de las Animas en el Cerro Prieto y un poco más al Oeste de ellos el de El Carmen, yacen entre la granodiorita y fragmentos de mármol que pueden haber sido envueltos primeramente por aquella, ó que representan restos de la cubierta antigua de la caliza con Nerineas. Sólo la mina de Cabrestante había alcanzado ya una extensión y profundidad mayores, mientras que las otras tres no tomando

en cuenta las antiguas labores superficiales de El Promontorio, sólo tenían una importancia secundaria ó ya habían sido abandonadas de nuevo.

Hasta donde se puede ver aparecer en los criaderos del grupo oriental el mineral de cobre íntimamente ligado con las masas de contacto sin relación evidente con grietas. La magnetita es muy abundante en todos y se encuentra en grandes cantidades en las minas del Cerro Prieto y El Carmen. También la pyrita desempeña un papel importante en cristalizaciones muy perfectas. Se encuentra esfalerita en menor cantidad, lo mismo que cuarzo que se observa en todas partes, pero que no posee como acompañante primario de los minerales la misma distribución en las minas orientales que en Aranzazú. No observé wollastonita en ninguna de las minas orientales. En cambio se encuentra ocasionalmente un poco de amfibola y zoisita y como formación mineral más moderna ortoclasa tanto en Cabrestante como en el Carmen con mucha frecuencia.

En los criaderos occidentales de Aranzazú se encuentran las masas de silicato metalíferas en relaciones claras con grietas que atraviesan las calizas con Nerineas perpendicularmente á su estratificación. Magnetita no la observé allí, pyrita no se encuentra tampoco con tanta abundáncia como en las minas del grupo oriental, pero en cambio llama la atención la existencia de mucha esfalerita. También tetraedrita arsenical no parece ser muy rara en Aranzazú. Cuarzo y wollastonita son acompañantes principales de los minerales sobre todo en el caso de que éstos se presentan en grietas ó bolitas á cierta distancia de la roca eruptiva.

Mencionaré aquí las diferentes alturas de las minas: La altura absoluta de la entrada de las minas en Cabrestante es aproximadamente 2,120 m. Los Azules 2,150 m., Catarroyo 2,200 m., La Cruz 2,400 m., Cerro Prieto 2,400 m., El Carmen 2,500 m., en Aranzazú aproximadamente entre 2,600 y 2,800 m. Los desniveles entre estas alturas son demasiado insignificantes para poder explicar las diferencias mineralógicas entre las minas orientales y las de Aranzazú. Entonces sería necesario tomar en cuenta que los minerales de Aranzazú se extraen en parte de profundidades que alcanzan la altura absoluta del criadero del Carmen. Quizá más importante es el hecho de que la roca eruptiva se extiende debajo de los criaderos del grupo oriental en masa ancha y aparentemente con inclinación débil, mientras que el macizo eruptivo se angosta cerca de Aranzazú estando limitado por lo menos hacia el Poniente por capas con fuerte echado (Véanse los cortes en el trabajo de Burckhardt[1]). Suponiendo que las masas calcáreas del Cerro Prieto y del Carmen no representen cubiertas, sino inclusiones primitivamente envueltas por la granodiorita, se explicaría quizá el carácter mineralógico de aquellos criaderos como una consecuencia de la influencia más intensa del magma eruptivo.

1 Burckhardt, Géologie de la Sierra de Concepción del Oro. *Guide des excursions du X? Congrès Géologique International*, N? XXIV. México, 1906.

En seguida hablaremos de las condiciones geológicas y mineralógicas de los afloramientos más importantes, hasta donde me lo permitan mis notas y colecciones.

MINAS DEL GRUPO ORIENTAL

Cabrestante. En los alrededores de Cabrestante se efectuó la explotación minera más antigua de la región de Concepción. Se extrajo oro del Arroyo de la Plata, probablemente procedente de las zonas superficiales alteradas de los criaderos de cobre que contienen aún hoy día un poco de oro y de cuarzos auríferos. Una pequeña mina superficial abandonada en el límite entre el mármol cretácico metamórfico y masas de contacto muy descompuestas designa la antigua mina de oro: Concepción del Oro. Los trabajos se efectuaron á lo largo del contacto. El cuarzo aurífero se presenta como masa drúsico-celular, sobre todo en los productos de descomposición ferrosos, pero parece también haber penetrado en la caliza. La formación de estos cuarzos auríferos es más moderna que la de las rocas de contacto y de las menas que existen en ellas. Todavía hoy día se explotan tales cuarzos celularmente carcomidos con un contenido de oro hasta de 40 gr. por tonelada, de las partes superiores de la mina vecina Cabrestante. Macroscópicamente muestra este cuarzo que se asemeja á calcedonia, y que es cristalino de grano muy fino y de carácter de incrustación, las indicaciones de fracturamiento y recementación repetidos; en la lámina se caracteriza por una estructura brechosa que se observa hasta en los detalles. Macroscópicamente se observan películas de óxido de manganeso y un poco de limonita; sulfuros parecen faltar en estas vetas, oro libre no lo pude reconocer. Hay que decir que también la chalcopyrita de los criaderos de contacto contiene oro y plata. Según la indicación de los directores de las minas, contienen menas de cobre con una ley de aproximadamente 15 por ciento de cobre, esto es, chalcopyrita ligada principalmente con granate y espato calizo, 15 gr. de oro y 300 gr. de plata por tonelada ó sea 0. 0015 resp. 0.03 por ciento.

En el tiempo de mi visita, Cabrestante había alcanzado una profundidad de 110 m. El criadero pertenece á las masas de contacto que se pueden seguir desde el Valle del Almagre y desde la antigua mina Concepción marcadas superficialmente por catas hasta los Azules. En la caliza el agua superficial penetra por cavernas naturales en la profundidad; por la misma circulación de agua se oxidaron en parte los metales habiéndose enriquecido el contenido de oro de las chalcopyritas á 10-15 y hasta 40 gr. por tonelada. La transición á la mena primaria la forma un mineral de cobre negruzco, carcomido, polvoso, mezclado con pyritas descompuestas; los mineros ingleses lo designan como *black oxide*, pero consiste seguramente en lo principal ó completamente de covellina ó chalcosina.

Una gran parte de las menas visibles en la mina me pareció que consisten de espato calizo de grano grueso atravesado por bolsitas y cintas de

chalcopyrita y pyrita y rellenado por cristales de la última. Las muestras que recogí en el terrero muestran al contrario mucho granate, espato calizo, pyrita, chalcopyrita, hematita, pyrrotina, un poco de cuarzo, á veces esfalerita, así como hornblenda verde-clara que se asemeja á asbesto. Todos estos minerales son indudablemente productos del mismo proceso de formación, aunque dejan reconocer entre sí en parte una cierta sucesión de edad.

El granate amarillo-verdoso, pardo-verdoso ó amarillo-pardusco forma masas compactas cristalinas atravesadas por espato calizo y las menas. Al quitar el espato calizo con ácido se ponen á descubierto cristales de la combinación ∞ 0,202 y aparecen en la pasta fundamental cristalina hendeduras y grietas revestidas con caras de cristales que recuerdan sobremanera á hendeduras de contracción visibles, p. e. en un ladrillo fracturado por un calentamiento exagerado.

La pyrita es contemporánea con la chalcopyrita, apareciendo la primera con frecuencia, la última aparentemente nunca en forma de cristales. Ambas son muchas veces indudablemente más antiguas que la magnetita; hasta donde se pueden reconocer cristales, en la última se ven el octaedro y el dodecaedro laminado según éste. La magnetita está íntimamente ligada con espato calizo, siendo contemporánea con él. La hematita micácea no es tan frecuente como la magnetita y parece ser también un mineral primario, habiéndose formado asimismo después de los sulfuros. El cuarzo es contemporáneo con el granate. La hornblenda gris verdosa reconocible por su oblicuidad de extinción, forma en escala limitada agregados finamente afelpados más raras veces agujas un poco más gruesas; es con seguridad un mineral primario y no un producto de transformación. Entre los sulfuros y el granate no se pudo comprobar una diferencia de edad; se atraviesan de un modo muy irregular ó se presentan en la muestra en forma de una especie de cintas estratificadas. En drusas de esas mezclas de menas y silicatos se encuentran pequeños romboedritos de siderita y pseudomorfosis de revestimiento por lo general huecos de este mineral según otro carbonato romboédrico. Todavía sobre la siderita se observa pyrita como última formación. Pequeños cristalitos de granate (∞ 0,202) se encuentran sobre la pyrita más antigua.

Ya hablé de una piedra córnea calcárea y silizosa con vesuviana y escapolita de Cabrestante en la pág. 69. Otra lámina de una muestra de mena compuesta principalmente de pyrita se distingue por su contenido notable de hornblenda semejante á actinolita. La pyrita forma masas compactas; las partes no ocupadas por ella en la lámina están rellenadas por un fieltro irregular de agujitas de actinolita entre las cuales se observan á veces también prismas más anchos casi incoloros del mismo mineral en una especie de pasta fundamental de espato calizo ó cuarzo. La hornblenda muestra á veces y con una intensidad diferente un colorido pleocroítico, en el cual $\mathfrak{c}$ muestra un color por lo general azul-verdoso, más raras veces pardo-ver-

doso intenso, $\mathfrak{a}$ y $\mathfrak{b}$ parduzco-verdoso ó pardo-claro hasta incoloro. La oblicuidad de extinción alcanza 21½°. Entre los haces y prismas de actinolita se encuentra magnetita con frecuencia, que por esto muestra formas irregulares angulares ó semejantes á esqueletos. Cristales de magnetita se encuentran esparcidos en el agregado. También aquí la magnetita parece ser el mineral más moderno en relación con la pyrita formando muchas veces el margen ó rellenando con los otros componentes sus huecos. La pyrita se encuentra también en el agregado de espato calizo-cuarzo-actinolita y entonces suele ser envuelto por la magnetita. Al lado del espato calizo se observa ocasionalmente la siderita amarillenta con una refracción mucho más viva que se deja reconocer muchas veces como una formación más moderna. Por lo demás no se ve fenómeno alguno que pudiera comprobar la sustitución mutua de los componentes que forman hoy la roca. La pyrita es por lo general un poco más antigua que el resto de los componentes, pero encierra también prismas de la hornblenda.

De los agregados ahora descritos y seguramente también de las masas de espato calizo metalíferas ya mencionadas que pueden ser consideradas, como se mostrará más adelante al hablar de las condiciones de Promontorio, como formación verdadera de contacto lo mismo que las rocas de granate, proviene una gran cantidad de magníficos cristales de pyrita.[1] Estos forman por lo general láminas gruesas según dos caras de $\infty O \infty$; las caras del cubo son aquí preponderantes y por lo general poco estriadas, con frecuencia todas lisas como un espejo. Con la lente se reconocen á veces desigualdades irregulares muy ligeras ó estrías que recuerdan algo las flores de hielo. Otras caras son $\left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right]$ (321), $\frac{\infty O 2}{2}$ (210), O (111) y muy raras veces también $\left[\frac{\frac{5}{3}O\frac{5}{4}}{2}\right]$ (543). $\left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right]$ es por lo general áspero ó por lo menos rayado en la zona O : $\frac{\infty O 2}{2}$, á veces también completamente liso. $\frac{\infty O 2}{2}$ es bastante raro. Un fragmento grande muestra O preponderante $\frac{\infty O 2}{2}$ liso y subordinado $\left[\frac{4O\frac{4}{3}}{2}\right]$ correspondiente á ciertos cristales grandes de Brosso en Piamonte. Octaedros puros ó por lo menos preponderantes son relativamente raros; los encontré en la magnetita compacta. Por lo general los planos son estriados según $\frac{\infty O 2}{2}$. Tan raros como ellos son pequeños, casi lisos $\left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right]$, de las cuales medí uno. Por lo general los cristales más pequeños muestran con más frecuencia una $\left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right]$ lisa que los grandes.

Muy raros son también cristales con formación equivalente de $\infty O \infty$ ó $\frac{\infty O 2}{2}$ y al lado de nuevo con subordinado $\left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right]$ y 0. Los cristales mayores de pyrita parecen tener un diámetro de varios centímetros. Hay que advertir que los individuos más pequeños que miden sólo unos milímetros únicamente muestran $\infty O \infty$ ó á lo sumo subordinado O y $\frac{\infty O 2}{2}$, y muy raras veces

1 Estas pyritas representan indudablemente una de las localidades más bonitas de este mineral y se encontrarían seguramente ya esparcidas en muchas colecciones si en Concepción alguna persona se tomara la pena de fijarse en el hallazgo de minerales. Es muy característico que los cristales más bellos de mis pyritas han sido usados como juguetes por los niños de los peones.

también $\left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right]$. Con el aumento del cristal cambia aparentemente la proporción en favor de O y $\left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right]$.

Al lado de los cristales bajo las condiciones paragenéticas ya descritas se encuentra pyrita bien cristalizada en Cabrestante en agregados sueltos de incrustaciones que resultaron ser ortoclasa incrustada por siderita de color amarillo sucio y ligada con un poco de cuarzo. En la incrustación discromática y poco vistosa resaltan primeramente los cubos de tamaño hasta de 3 cm. completamente desarrollados y estriados como de costumbre según $\frac{\infty O2}{2}$. Raramente y subordinada se observa además lisa O, $\left[\frac{4O2}{2}\right]$. Después de la disolución de los mínimos romboédritos de siderita en ácido clorhídrico se ve la ortoclasa bajo la forma de una incrustación drúsica, cristalina fina, blanca como nieve que con una lente de un aumento de 20 veces deja apenas reconocer cristales claros. La determinación del peso específico, el índice de refracción que es de más ó menos 1.52 habiendo sido determinado según el método de Schroeder van der Kolk, la doble refracción débil y los dos ejes ópticos, no dejan ninguna duda respecto á la naturaleza del mineral. Al microscopio pude reconocer cristales bien limitados claros como agua que muestran muchas veces el desarrollo de las caras de la adularia con OP (001) $\infty \breve{P} \infty$ (010), ∞P (110) y $\bar{P} \infty$ ($\bar{1}01$).

La ortoclasa es más moderna que la pyrita porque la incrusta y hasta forma el cemento entre los fragmentos de sus cristales fracturados. Sobre la formación de estos curiosos agregados de pyrita y ortoclasa no puedo emitir ninguna opinión segura; no los encontré yo mismo en la mina sino que me los dió un minero. Ortoclasa y albita se encontraron en varios casos, es cierto, como componentes verdaderos de vetas. [1]

Sin embargo las muestras que poseo de Cabrestante no causan de ningún modo la impresión de una muestra de veta. Al contrario me inclinaría á creer que los agregados de pyrita fueron lixiviados del espato calizo grueso ya mencionado y sólo fueron incrustados más tarde por el feldespato y en la parte que habían sido fracturados después de la lixiviación fueron cementados de nuevo por él. Mencionaré de antemano que en las masas de contacto de la mina El Carmen se encuentran con frecuencia cristales de ortoclasa de mayor tamaño, como una de las segregaciones más modernas.

Por la descomposición de la ortoclasa se forman productos de alteración kaolínicos que acompañan á veces á las menas. Con ellos aparece en algunas muestras esfalerita compacta de color pardo obscuro. Muestra una laminación de gemelos según O y contiene manganeso.

Entre las formaciones más modernas de minerales de la mina Cabrestante mencionaré aquí con más detalles una incrustación semejante á calcedonia. En el terrero encontré pedazos pardos esponjosos semejantes á "Rauchwacke" que tomé primero por calamina. En parte encierran todavía gra-

1 Véase STELZNER - BERGEAT, Die Erzlagerstätten. p. 529 y LINDGREN, Ocurrence of albite in the Bendigo veins. Econ. Geol. 1. 1905. p. 163—166.

nos de espato calizo ó están ligados con partes de este mineral en masas cristalinas de grano grueso. Con la lente se reconoce claramente que aquí ha sido sustituído el espato calizo por una substancia inmigrada, la calcedonia, y que esta sustitución en parte á lo largo de las grietas del espato calizo, estaba ya bastante avanzada cuando el último fué eliminado en su mayor parte del tejido de calcedonia. Más tarde se formó entonces la siderita encima de la última. Disolviendo el carbonato con ácido clorhídrico en cuya operación se puede reconocer en la solución al lado de cal también magnesia y muchísimo fierro pero ningún zinc, queda la calcedonia bajo la forma de una masa fina blanca, friable como piedra pómez, que puede ser evaporada por ácido fluorhídrico hasta un resto pequeño colorido por el fierro y que consiste pues de ácido silícico casi puro, encerrando como se ve al microscopio pequeñas cantidades de aquel carbonato de fierro y limonita.

El agregado claro hialino está formado como se ve al micoscopio, de dos substancias diferentes que designaré en lo futuro como Q y Ch.

Por la inmersión en esencia de clavo (índice de refracción = 1.544) en la cual al mismo tiempo se encontraron fragmentos de cuarzo, resultó una concordancia hasta los centésimos de su refracción con la del cuarzo. Entre Q y Ch existe sin embargo una diferencia pequeñísima de refracción que se deja reconocer netamente por la línea de Becke de la reflexión total. Esta diferencia se refiere sin embargo solamente á los milésimos. Q es la substancia de mayor refracción.

Q y Ch se encuentran en lo general en agregados de hojas radiadas ó fibras hojosas con frecuencia netamente radiales; las astillas examinadas al microscopio consisten en parte de agregados de una clase, en parte de la otra. Cuando la estructura es radial, Ch forma las partes exteriores, Q las interiores del agregado y á la luz ordinaria se deja reconocer por el límite entre ambas substancias por medio de la reflexión total. Q y Ch se distinguen además por el grado de la doble refracción que se acerca probablemente, tratándose de Q, al del cuarzo, siendo mucho más baja tratándose de Ch. Otra diferencia muy notable es el hecho de que en los agregados radiales hojosos se comporta Q en la dirección de las fibras ópticamente positivo, Ch al contrario negativo.

Aisladamente se observan agregados de Ch de fibras finas, completamente radiados, concéntricos que se pudieran tomar por cortes de esferolitas, pero que sólo están desarrollados en dos dimensiones conforme á la formación total de la substancia á lo largo de grietas finas en el espato calizo. Estos pequeños discos dejan reconocer con bastante perfección entre los nicols cruzados la cruz negra, las fibras son ópticamente negativas. En una laminita muy bien desarrollada de un diámetro de 0.176 mm. observé un cambio que se repite más ó menos doce veces, de capas concéntricas de estructura fibrosa un poco diferentes por su refracción, siendo todas las fibras en todas las zonas ópticamente negativas. El curso de tales zonas concéntricas muestra frecuentemente ángulos marcadamente salientes y entrantes

que se repiten muchas veces y que al microscopio recuerdan la quebradura transversal del ágata de círculos irregulares concéntricos y que seguramente están causados por caras de cristal.

Por lo demás se encuentran aunque en número limitado cristales y esqueletos de cristales de Q. Observé los primeros con aumento fuerte en grupos pequeñísimos que se asemejan algo á la tridimita, pero que muestran más bien un carácter rómbico ó monoclínico que exagonal. Los esqueletos de cristales ofrecen una forma de estrellas de seis radios; son tan sólo en parte ópticamente homogéneos y parecen entonces componerse de la substancia Q; en parte muestran una extinción ondulosa ó en diferentes partes una orientación óptica algo distinta, lo que puede provenir de fenómenos de crecimiento primarios. Pero algunos muestran unos agregados excelentes de fibras finas radiadas de los pequeños discos de Ch y las propiedades ópticas de estos últimos. Con suma facilidad los tomaría uno por pseudomorfosis (paramorfosis) de Ch según Q. Las formaciones en cuestión son sumamente finas. El ancho de las varillas que se juntan para formar estrellas es más ó menos de 0.025 mm. y el largo mayor 0.25 - 0.6 mm. Según una medida algo inexacta por la formación de las varillas, los últimos formaron en un caso juntos ángulos que varían entre 59 y 61½°. En varias de tales estrellitas se pudo comprobar la terminación clara de las caras en radios á veces de la forma de un esqueleto.

Una estrella exagonal ópticamente homogénea formada de Q dió la imagen del eje de un cristal positivo con un eje en posición excéntrica; esta última se explica por el hecho de que el plano de la estrella exagonal no se encuentra en posición normal al eje del microscopio. Otra estrella exagonal consiste de Ch y muestra una estructura radial fibrosa alrededor de dos puntos centrales, de los cuales uno se encuentra cerca del centro de la estrella mientras que el otro está situado en una de las varillas. Alrededor de estos puntos centrales se hallan dos sistemas concéntricos contiguos de conchas reconocibles por ligeras diferencias de reflexión de los cuales el uno está caracterizado por notable constancia á través de las seis varillas; parece como si la estrella fuera sacada por un corte de dos esferolitas. En la figura 5 de la lámina IX se reconoce claramente que esta estrella de seis rayos ha sido formada por dos esqueletos trigonales ligados imitando gemelos.

Según mi opinión la substancia Q consiste de cuarzo, la substancia Ch de pseudocalcedonia. Después de haber calentado al rojo claro se observó con más claridad la estructura zonal de los agregados; habiéndose reconocido antes sólo por medio de refracción diferente, apareció ahora con claridad por su dibujo fino pardo. Esto me lo expliqué por el hecho que quizá un poco de cloruro de fierro pudiera haber sido adicionado por capas semejantes á ópalo y durante la disolución anterior de la siderita en ácido clorhídrico y que esta impregnación haya resultado visible por el calentamiento al rojo. Sin embargo, ensayos de coloración con eosina no dieron ningún resultado y tampoco se pudieron hacer desaparecer las fibras ópticamente

negativas, aunque habían sido tratados por varios días con potasa cáustica.

No observé tridimita en estos agregados ni en otras partes cerca de Concepción. Quizás se pudieran explicar los agregados ó paramorfosis descritos suponiendo que hayan consistido primeramente de cuarzo y que éste haya sido transformado en tridimita al calentar de nuevo las masas de contacto y que la tridimita misma haya sido transformada en calcedonia. Pero esto está en desacuerdo con el hecho de que nunca encontré cerca de Concepción ni en las masas de contacto de Cabrestante indicaciones de tales cambios.

Catarroyo. Hallazgos ocasionales de roca de granate con magnetita en el Valle del Arco comprueban junto con las huellas de cobre en el contacto, que los criaderos han de aparecer también en el curso siguiente del límite del macizo granodiorítico.

La mina Catarroyo situada al Suroeste de Cabrestante había alcanzado en el otoño de 1906 sólo una profundidad de 70 m. y había extraído poco mineral que parecía tener un carácter semejante al de Cabrestante. La masa de contacto muy descompuesta aflora en la superficie; una roca que se observa detrás de ella y que está muy descompuesta perteneciente á la zona del Kimeridgiano, resultó ser una piedra córnea con wollastonita (comp. p. 56). Los minerales son principalmente magnetita ligada con chalcopyrita y cristales de pyrita, correspondiendo los últimos en su carácter con los de las rocas de granate metalíferas de Cabrestante. En drusas se encuentra cuarzo como depósito más moderno al lado de cristalizaciones insignificantes de dolomita ó dolomita ferruginosa y siderita.

Respecto á la edad y origen de la siderita tienen interés ciertas muestras de mineral que presentan dicho carbonato íntimamente ligado con magnetita en mezcla de grano fino y que hubieran podido ser tomadas primeramente por rocas de granate y magnetita á causa de su intensa refracción. En la lámina la mezcla consiste únicamente de ambos minerales mencionados. La siderita se reconoce no solamente por su color sino comparándola con espato calizo, también por el hecho que sus cortes muestran en todas las orientaciones una refracción mucho mayor que el bálsamo de Canadá. El desarrollo de la magnetita llama la atención: envuelve el carbonato y forma con frecuencia películas delgadas y costras alrededor de los cristales romboédricos, hoy sustituídos por agregados de granitos de siderita con orientación muy diferente, formando pues esta siderita pseudomorfosis. El diámetro de una de esas pseudomorfosis ha sido determinado en 0.4 mm., el de los granitos de siderita á su vez más ó menos en 0.05 mm. [1]

Promontorio y Las Animas. Ambas minas vecinas se encuentran en el contacto entre la roca eruptiva y una masa de caliza transformada en mármol, siendo la primera una granodiorita micácea de grano mediano rica en

1 Fenómenos muy semejantes muestran pseudomorfosis de ankerita en relación á un revestimiento más antiguo de esfalerita en minerales de la mina de zinc en el Schneeberg en Tirol.

cuarzo y ortoclasa y con un poco de diopsida. En Las Animas casi ya no se trabajaba en el tiempo de mi visita. Sólo se veían grandes excavaciones en la roca de contacto alterada, en cuyas paredes se encontraban depósitos abundantes de sulfato de cobre. También pude obtener unos pedazos de cobre nativo y algunas muestras de magnetita pyritífera. En Promontorio habían explotado hasta entonces sobre todo en labores superficiales las masas de mena muy descompuestas del afloramiento superficial. Son estas limonitas algo auríferas, abigarradas por carbonatos de cobre y allofana, atravesadas por óxidos de manganeso, cuprita y cobre oxidulado ferrífero que forman una zona ancha de casi 20 m. entre el mármol desagregado en cubos irregulares y la granodiorita también alterada por la descomposición. Para el estudio del afloramiento primario de mena pude aprovechar un socavón nuevo que produjo menas mineralógicamente muy variadas en dos galerías de explotación situados en una distancia de 40 m. uno del otro al Sur y al Norte de él. En la galería situada al Norte las menas formaron una masa de un espesor aproximado de 20 m. de roca de granate con grano fino íntimamente ligada con sulfuros, espato calizo y magnetita; al Sur por lo contrario habían encontrado en el mismo contacto una masa enorme de espato calizo con grano muy grueso, que está enteramente exento de silicatos de contacto en numerosas muestras, pero que está entreverado de chalcopyrita por lo general compacta y numerosos cristales de pyrita. Detrás de esta masa aparece de nuevo mármol normal desagregado en cubos irregulares.

En la roca de granate mencionada el granate está acompañado (véase lám. IX, fig. 4) de mucha magnetita, un poco de pyrita, de espato calizo cuarzo, hornblenda verde, poca titanita y bastante zoisita. Es la única roca de la región de Concepción en la cual pude comprobar el último mineral. La estructura es de grano fino; ninguno de los minerales presenta cristales bien formados siendo todos por lo general el producto de un solo período de segregación, aunque la segregación de algunos puede haber empezado antes que la de los otros. El granate y la magnetita forman un agregado atravesado por numerosos huecos y senos y forman el punto de salida para la segregación de los otros minerales de modo que parecería á primera vista que representan una primera fase de la formación de la roca. Esto es cierto sólo en lo general; un examen minucioso deja por lo contrario reconocer que encierran muchas veces también partes de los otros minerales y que sobre todo el granate se presenta también como inclusión en el cuarzo y en el espato calizo. El granate tiene en la lámina un color amarillo verdoso claro, tiene á veces doble refracción y sus granos redondos y agregados de granos son por lo general libres de inclusiones. Se observan indicaciones de limitación de caras, pero nunca cristales bien desarrollados. La magnetita lo atraviesa en masas continuas pero también de forma sinuosa irregular y además de un modo subordinado también en granos, pero más raramente en cristalitos finos.

En los huecos de este agregado se encuentra por lo general el resto de los minerales mencionados. Frecuentemente se encuentra una hornblenda rica en fierro de color verde sucio. Generalmente forma agregados fibrosos muchas veces compuestos de individuos ordenados radialmente encima del granate, de modo que pudiera aparecer primeramente como un producto de transformación de éste, lo que sin embargo no es. Estos agregados recuerdan algo la clorita ó más todavía la cloritoide, distinguiéndose sin embargo de ellas desde luego por la intensidad de la doble refracción, cuyo carácter en la zona principal es positivo en contraste con ellas. El colorido es muy intenso observable en prismas pequeñísimos; observé $\mathfrak{a}_1$ verde pardusco, $\mathfrak{c}_1$ verde obscuro, siendo la absorción claramente $\mathfrak{c}_1 > \mathfrak{a}_1$, $\mathfrak{c}: c$ por lo menos 15°. Agregados radiales en forma de bolas y algunas fibras de esa hornblenda se encuentran también en medio del cuarzo y del espato calizo y del mismo modo encierra á veces el granate acumulaciones fibrosas de dicho mineral. No raras veces los agregados de hornblenda que se encuentran encima del granate tienen una forma redonda y penetran en los huecos rellenos de cuarzo y espato calizo, son de nuevo encerrados por una cubierta delgada de granitos de granate.

El cuarzo muestra una estructura radiada y una extinción ondulosa notable, atravesando en partes el granate con una especie de estructura como del granito gráfico. El espato calizo por lo contrario es muy rico en inclusiones de líquido relativamente grandes con burbujas á veces móviles. Las burbujas cambian al calentar su lugar y se hacen inmóviles, pero no desaparecen, así pues, las inclusiones por lo menos en su mayor parte no son de ácido carbónico líquido. A la extinción ondulosa del cuarzo corresponde la laminación secundaria de gemelos del espato calizo. Láminas delgadas, esqueletos y fibras paralelas del último á veces juntas con fibras de hornblenda, atraviesan el cuarzo. La pyrita es aquí un poco más moderna que la magnetita; el granate la envuelve pero no inmediatamente, sino que está separada de ella por una capa delgada de cuarzo. La zoisita es bastante común bajo la forma de granos y sobre todo de columnitas arredondadas ó en forma de esqueleto, rica en inclusiones irregulares tubiformes que como lo demuestra la presencia de burbujas se componen en su mayor parte de líquido. Además se encuentran en ella inclusiones de espato calizo y probablemente también de cuarzo y hornblenda. Ocasionalmente se observa también una penetración en forma de esqueletos de zoisita y espato calizo. El carácter óptico de la zona principal es siempre negativo, el plano de los ejes se encuentra paralelo con la dirección longitudinal á la cual corresponde también la dirección de las fibras bastante claras. Se trata pues de zoisita α. Titanita se encontró una sola vez como cristal bastante completo encerrada en cuarzo y espato calizo.

El mármol de grano grueso con pyrita que se observa en el lado izquierdo austral del socavón, muestra en parte cruceros de un tamaño por lo menos de 30 cm. de espato calizo con laminación de gemelos según $-\frac{1}{2}R$; en

cavidades se observan escalenoedros atacados R 3 de dimensiones de algunos decímetros. Dicho mármol encierra además de pyrita, chalcopyrita, magnetita y un poco de hematita; en drusas se presenta al lado de cuarzo un carbonato amarillo romboédrico en cristales pequeños, probablemente siderita. La chalcopyrita es al contrario de la pyrita casi completamente compacta, sólo raras veces se observan cristales, habiéndose encontrado únicamente un solo esfenoideo del tamaño de un chícharo, torcido y netamente estriado. En muchas muestras predomina la chalcopyrita sobre el espato calizo siendo ambos simultáneamente cristalizados y teniendo la mena una formación en parte fluida, casi escoriosa ó en gotas. En la superficie la mena ha sido transformada en chalcosina, en cavidades se encuentra además covellina en polvo y con cristalitos microscópicos.

La pyrita se encuentra en cristales y grupos de éstos. El hábito de los muchos individuos examinados es octaédrico con formación simultánea por lo general muy irregular de $\left[\frac{30l}{2}\right]$ subordinado también con $\frac{\infty O2}{2}$ é $\infty O \infty$. Las caras octaédricas son estriadas, escalonadas por el dyakisdodecaedro y con frecuencia no planas á causa de la penetración subparalela de diferentes cristales engranados mutuamente con suturas irregulares. No pude observar gemelos.

La descomposición superficial penetra hasta el mármol con pyrita. Se muestra no solamente en la chalcopyrita que se transforma así en chalcosina y covellina, sino también en la pyrita. En algunas muestras se ve que esta última ha sufrido una decoloración que se asemeja completamente á la bornita hasta cierta distancia de las paredes de las drusas. Por eso pensé en una transformación de pyrita por medio de una solución de cobre, pero el examen cualitativo no dió ninguna huella de cobre, pero demostró una alterabilidad más fácil por ácido nítrico de las partes decoloridas y un contenido bien aparente de cobalto. Según un análisis que hizo el Sr. Rabe, químico metalurgista, por la amable intervención del Sr. Prof. Dr. Biltz, el contenido de cobalto de la pyrita fresca de Promontorio es de 0.26 por ciento, no habiéndose encontrado níquel. Por el contenido de cobalto se explica probablemente el color notablemente más claro de los cristales frescos de la pyrita.

Magnetita se encuentra subordinada encerrando los sulfuros; más moderna que ella es la hematita en pequeña cantidad. La última es en parte indudablemente un mineral primario. En drusas se observa cuarzo (∞ R, R, — R), espato calizo (R 3) y como ya lo hemos dicho, romboedritos pequeños de un carbonato amarillento probablemente siderita. Esta última se revela también aquí como una de las formaciones más modernas.

En *Las Animas* parecía ser también magnetita un mineral bastante común; encierra dyakisdodecaedros y octaedros grandes y estriados de pyrita. Entre los minerales secundarios encontré un poco de cuprita, sulfato de cobre y los carbonatos de cobre ordinarios acompañados de masas noduloso-botroideas de cobre nativo.

Hasta donde se reconoce una cristalización de este último se presenta en forma de cubo y octaedros torcidos. De las formaciones nuevas acompañantes el cuarzo (∞ R, R, — R) ofrece interés como formación completamente reciente; además se observan escamas de hematita, pyrita, calcedonia y al lado cuprita y malaquita y aparentemente también allofana.

El Carmen. Al Oeste de la fundición vieja se encuentra cerca de la mina El Carmen[1] una masa ancha de caliza metamorfizada por el contacto. Debajo de su borde superior sale á luz un criadero de granate y magnetita cuprífero, que había sido descubierto por una explotación pequeña entonces justamente interrumpida.

La masa principal del criadero la forma granate pardo verdoso ó pardo tanto bajo la forma de piedra córnea de granate compacta, como en agregados granulosos ricos en drusas. Además se encontró en el afloramiento de entonces subordinado la magnetita; los sulfuros están oxidados. De gran interés son las inyecciones de cuarzo en el criadero y la frecuente presencia de cristales de ortoclasa en drusas. Por último se encuentra un poco de clorita pálida.

El granate forma masas que se descomponen en granos, ó que se segregan radialmente en varillas y que son ricas en drusas. Notable es una estructura en cintas á veces bastante marcada que puede resaltar principalmente por la intercalación de capas más ricas en magnetita y que muestra entonces un plegamiento fino (fig. 6). No puedo decidir si corresponde con

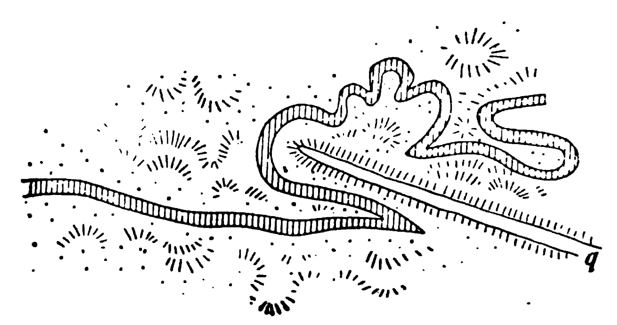


Fig. 6. Cinta plegada de granate rica en magnetita, en roca de granate granuloso ó radiado cerca de El Carmen.
q inyección de cuarzo á lo largo de la cual el granate fué segregado en forma radiada. Escala 1:20.

la estratificación primaria de la caliza transformada. Por lo general la roca de granate es de grano fino y friable, siendo las partes de grano fino frecuentemente encerradas por agregados de granate en cristales gruesos que tienen un aspecto radiado y se presentan con el mismo color y pueden penetrar á su vez en drusas. Capas enteras de la roca de granate son notables por ese carácter radial. Este está originado por el fenómeno de que partículas irregularmente prismáticas y cuneiformes hasta el tamaño de un cen-

1 Así se llama en el plano de Burckhardt. El peón que me acompañó la designó siempre con el nombre de El Nayal.

tímetro se juntan en los lados y se penetran mutuamente. Los planos de contacto están muchas veces encorvados pero con más frecuencia casi enteramente planos asemejándose entonces tanto más á caras de cristales por ser estriados siempre de un modo semejante á las caras prismáticas del cuarzo por ejemplo. La tentativa de comprobar por medio del goniómetro relaciones cristalográficas en este estriamiento no dió ningún resultado. Pero con la lente se reconoce que las estrías no son enteramente paralelas. Me parece probable que la separación es una consecuencia de la contracción.

Los cristales de granate visibles en las drusas muestran casi sin excepción las formas $\infty 0$ y 202 (112); más raros y subordinados son también $\frac{3}{2}0$ (323) é $\infty 02$ (210). Entonces $\infty 0$ está siempre desarrollado bajo una forma drúsica escalonada y 202 está finamente estriado según $\infty 0$.

Una estructura conchoidal puede ser ocasionada por el hecho de que un núcleo verde está encerrado por una costra parda ó que zonas pardas más claras ó más obscuras alternan entre sí. Con frecuencia se observa la magnetita (respectivamente martita ó limonita) íntimamente ligada con láminas de hematita y cuarzo (en parte ametista) no pudiendo existir ninguna duda sobre la formación contemporánea de éstos con el granate.

Una roca córnea de granate compacta muestra en la lámina al lado de granate anómalo, cuarzo, espato calizo y un mineral incoloro biaxial probablemente ortoclasa, como formaciones contemporáneas. El cuarzo contiene inclusiones de líquido con burbuja móvil y cristalitos cúbicos.

El granate pardo de El Carmen es un granate de cal y fierro como resulta por el siguiente análisis del Sr. Prof. Dr. Dittrich:

		Números moleculares	
SiO_2	34,85	0,577	
Al_2O_3	2,19	0,021	0,203
Fe_2O_4	29,03	0,182	
FeO	0,19	0,003	0,597
MnO	0,35	0,005	
MgO	0,12	0,003	
CaO	32,90	0,586	
Alcalis	huellas		
Agua hasta 110°	0,07		
Agua á más de 110°	0,09		
	99,79		

De esto se calcula:

R_V	R_{III}	R_{II}	O
1,42	1	1,47	5,81

muy aproximado á la fórmula $(Si\ O_4)_3\ (Ca\ Mn\ Fe\ Mg)_3\ (Fe\ Al)_2$.

En las muestras examinadas sólo se observa parcialmente una descomposición intensa del granate á pesar del estado alterado del criadero. Un tratamiento con ácido sulfúrico diluído comprobó en poco tiempo sobre todo al calentar, la alterabilidad del granate pardo. Tal fenómeno se obser-

vó también en el afloramiento de Promontorio en conexión con la descomposición de las pyritas en la superficie.

En las drusas de la roca de granate se encuentra con frecuencia ortoclasa roja ó blanca á veces bajo la forma de cristales de más de un centímetro. Muestran como el resto de las ortoclasas observadas en las formaciones del contacto cerca de Concepción, el desarrollo de las caras de la adularia. Por la preponderancia de T y x que está siempre estriado en dirección horizontal, poseen el hábito romboédrico siendo subordinadas P y á veces M. Con mucha frecuencia los individuos se presentan también en láminas gruesas según x. La ortoclasa es también aquí una de las formaciones más modernas siendo acompañada de cuarzo (∞ R, R, — R).

Las muestras de roca de granate examinadas dejan reconocer en parte cavidades netamente angulosas que provienen probablemente de inclusiones de caliza hoy lixiviada.

Una parte de los diques de cuarzo y de las masas de cuarzo que se observan en la roca de granate no tienen un origen secundario hidatógeno, sino tiene que ser considerada como inyección por parte del magma granodiorítico. Respecto á este fenómeno tiene mucha importancia el pérfil reproducido en la fig. 6. En él se ve claramente que un dique de cuarzo penetró en la masa de granate durante la formación de ésta ó quizá mejor dicho durante su enfriamiento, pues el granate ofrece á lo largo del dique de cuarzo una estructura radial en granos gruesos y acompaña éste en ambos lados como salbanda.

En la mina El Carmen la magnetita es solamente secundaria. Sin embargo la presencia de numerosos fragmentos eluviales pequeños ó de un tamaño hasta de un metro cúbico en la superficie de la granodiorita vecina, comprueba que existe también en masas compactas de tamaño mayor en el criadero. Estos fragmentos con los pedazos poco numerosos de rocas del contacto representan restos esparcidos de denudación. La magnetita está generalmente transformada en hematita y se presenta con cristales de la combinación 0 é ∞0, siendo este último estriado en dirección paralela á la arista de combinación. Una separación conchoidal clara de las pseudomorfosis parece provenir de una intercalación zonal anterior de partículas de espato calizo hoy lixiviado.

Al lado de los productos ordinarios de descomposición y transformación: limonita, goethita, azurita, malaquita, cuprita, cobre oxidulado ferrífero, hematita, espato calizo secundario de grano grueso y kaolín, se encuentra con mucha frecuencia cuarzo más moderno en el criadero de El Carmen. Mencionaré aquí especialmente un afloramiento muy bonito de cuarzo ferruginoso que asemeja mucho al de Sundwig cerca de Iserlohn. Los cristales muestran ∞R, R y — R siendo con frecuencia preponderante uno de los romboedros. En el lugar del cuarzo ferruginoso se depositó cuarzo hialino en los lugares á donde la adición de limo ocráceo no se efectuó; en cambio no faltan muestras que dejan reconocer netamente el desarrollo del cuarzo

ferruginoso en el ocre muy moderno que tizna en forma de polvo. La cristalización del cuarzo continúa pues aquí, seguramente bajo la influencia de aguas atmosféricas en el criadero. Los prismas de cuarzo componen en parte grupos excelentes compactos y radiales como se reconoce con facilidad en la quebradura de las muestras.[1] Una muestra presenta una incrustación de granate por cristalitos de cuarzo, siendo estos últimos en parte de nuevo revestidos de calcedonia fibrosa botroide; las fibras de la última son ópticamente negativas y la refracción comparada, en esencia de clavo, es casi idéntica á la del cuarzo. No parece existir una transformación de cuarzo en calcedonia.

MINAS DEL GRUPO OCCIDENTAL (ARANZAZU).

Las minas de Aranzazú han sido descritas por Villarello.[2] Son las más importantes del distrito. Aranzazú es una pequeña población de mineros, encontrándose allí las casas de servicio y de habitación, así como las instalaciones de tiros y de maquinaria de la Compañía minera. La población está en comunicación con Concepción del Oro por medio de un camino que pasa por lo general á lo largo del contacto y que alcanza por fin el plano del término del valle que se encuentra á una altura de 2,650 m., 650 m. arriba de Concepción y que está formado de granodiorita, para bajar pronto detrás de las casas de éste, pasando por un bajo puerto al amplio Valle de Mazapil.

Las cumbres que se levantan al Este y Oeste de Aranzazú están formadas de caliza con Nerineas. La granodiorita forma según Burckhardt, la parte central de un gran pliegue inclinado hacia el Este á cuyo flanco oriental pertenece la hermosa cima del Temeroso, y al occidental con capas muy inclinadas pertenecen las alturas inmediatas encima de Aranzazú así como el panino de los criaderos. La masa granodiorítica se angosta aquí á un ancho apenas de un kilómetro. A lo largo del límite del contacto occidental se encuentran los numerosos criaderos de cobre que se explotan tanto en minas superficiales como subterráneas.

En Aranzazú visité las dos explotaciones más importantes, el Socavón General y las explotaciones profundas del tiro San Carlos, visitando además algunas explotaciones superficiales entre las cuales fué el Guaje el más interesante. El Socavón General tenía en el verano de 1906 una longitud de 456 m.; atraviesa al principio la granodiorita descompuesta para seguir después en la zona del contacto atravesando generalmente el mármol con silicatos, á veces también las rocas de silicatos metalíferos que penetran de modo que la roca eruptiva y la mayor parte de las masas metalíferas de contacto propiamente dicho, quedan al Este del Socavón. Por medio de varios tiros y de dos galerías habían sido descubiertas las partes más profundas

1 Otra muestra menos bonita de cuarzo ferruginoso la recogí durante una excursión en los alrededores del Parral, dirigida por el Dr. Pablo Waitz.

2 Le minéral d'Aranzazú. Guide des excursions du Xe Congrès géologique international. 1906, Nº XXV.

de los criaderos hasta 120 m. abajo del nivel del Socavón y por otra parte se encontró en este último el cuerpo de menas que se explotan en las pendientes del Cerro por las minas superficiales El Hundido y Jaime. Además el Socavón General atraviesa al dique de cobre El Placer, ya mencionado en la pág. 22, que sale aquí de la granodiorita para entrar en la zona de contacto. El echado de las capas calcáreas es bastante fuerte hacia el Suroeste, su rumbo lo indica Villarello con N.30° - 37°W., siendo este por lo tanto dirigido en ángulo agudo con relación al límite del contacto dirigido aquí más ó menos de N. á S. (comp. fig. 13). Para poner á descubierto estos criaderos en la profundidad se empezó á construir últimamente en el valle de Concepción más ó menos á 350 m. abajo de Aranzazú, un gran socavón de extracción el Socavón Principal.

Hacia el Norte la zona de criaderos se continúa al otro lado del arroyo de Aranzazú, distante unos centenares de metros de la entrada del Socavón General. Allí la mina San Carlos es la más grande al lado de una serie de catas y exploraciones superficiales. El tiro profundo de 110 m. desemboca en el arroyo mismo atravesando á 44 m. abajo del nivel del valle una cavidad natural de casi 30 m. de altura y seguramente formada por las aguas infiltradas del arroyo. Es una formación muy moderna que no tiene nada que ver con el depósito de las menas.

En las minas la explotación de las menas produjo amplios salones semejantes á cavernas ramificadas ó en forma de tubos. Los planos y cortes de las minas publicados por Villarello y completadas en parte por mí (figuras 7 - 10) dejan reconocer las formas y dimensiones de ellas. Es claro que

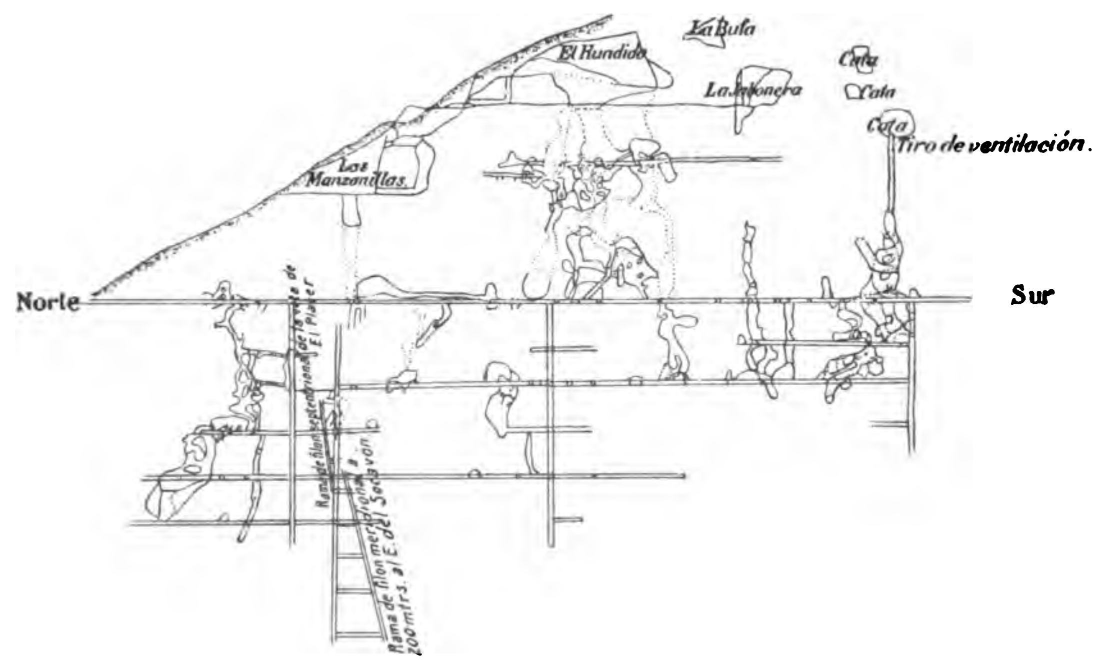


Fig. 7.—Perfil vertical á través del Socavón General de Aranzazú.
Escala 1:3300.

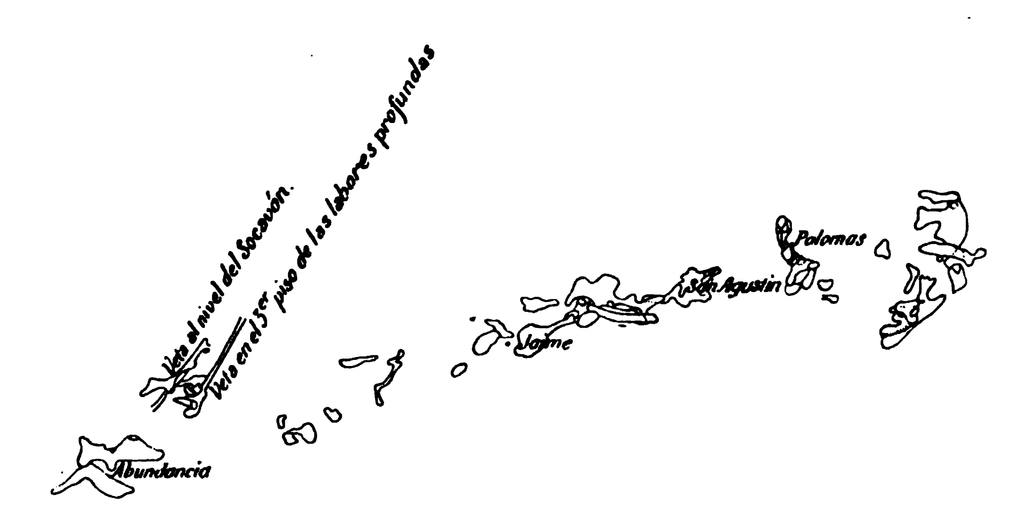


Fig. 8.—Corte horizontal al nivel del Socavón General de Aranzazú.

Escala 1:3250.

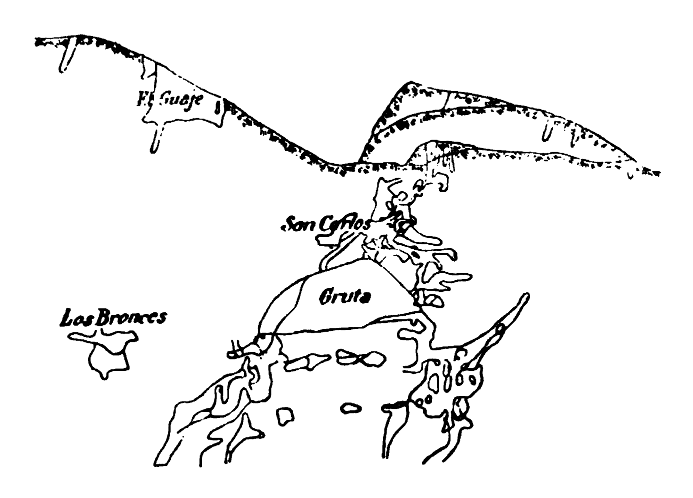


Fig. 9.—Perfil vertical á través de la mina de San Carlos en el plano N. 35° W.

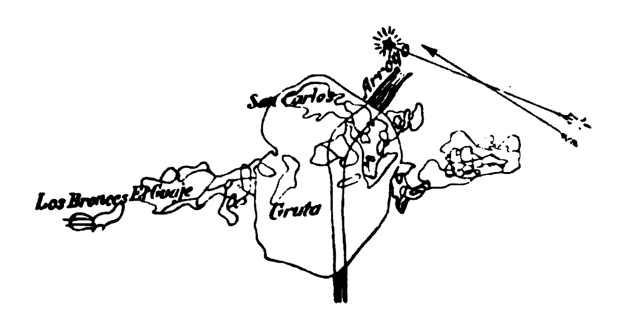


Fig. 10.—Corte horizontal de la mina San Carlos encima del cuarto piso.

Escala 1:3250.

dichos dibujos como tantos otros planos de minas no dan la extensión total de las zonas de la roca mineralizada ni la forma de las masas de contacto como cuerpo geológico, sino solamente la de las masas atravesadas por minerales de cobre y consideradas como explotables.[1] El mineral de cobre primario acompañado de muy poca tetraedrita es siempre la chalcopyrita, que ha sido transformada en las partes superiores generalmente en minerales oxidados y más abajo parcialmente en sulfuros más ricos. La chalcopyrita misma empieza á sustituir los últimos en las labores más profundas según mi cálculo más ó menos á 80 m. de la superficie.[2]

Como lo reconoció Villarello los criaderos de menas con silicato dependen en la zona de contacto de grietas más modernas que atraviesan las masas de caliza. No tienen ninguna importancia como dislocaciones ó solamente una subordinada, tienen un rumbo de más ó menos N.80° E., es decir, casi perpendicular al límite del contacto y al rumbo de las capas, habiendo indicado Villarello que estaban en relación con la subida de las masas eruptivas; serían pues, según esta explicación de origen exoquinético. Su echado es de 70-80° hacia el Sur en el Socavón General, hacia el Norte en la mina San Carlos. Al efecto se puede observar en el mármol de la zona de contacto estas grietas en gran cantidad como vetitas angostas con menas y silicatos. La estratificación de la caliza se ve por lo general poco marcada; á veces sólo se presenta bajo la forma de un enriquecimiento sinuoso cinteado de substancia grafítica, pero muchas veces se depositó también granate á lo largo de las separaciones de las capas. En donde el mármol aflora se les reconoce como suturas finas y como cintas de granate tortuosas angostísimas. La fig. 11 da una idea de aquellas vetas principalmente granatíferas.

La fig. 12 da además una idea del modo de la formación mineral en esas grietas como se puede observar muy bien en la mina superficial El Guaje. Esta es una excavación en el mármol de una profundidad de unos 25m. de una longitud arriba de 30m. y ancho de 15m. más ó menos. Más marcadas que la estratificación poco clara son las numerosas grietas transversales con silicatos y menas que atraviesan las paredes á distancia de un decímetro más ó menos y probablemente también en haces, siendo su espesor hasta el de un dorso de un cuchillo ó disminuyendo á veces hasta ser microscópicamente fino. A veces se forman del tejido de grietitas, bolsitas hasta

1 Esta observación se refiere de un modo general á todas las figuras semejantes de criaderos dibujados según el punto de vista únicamente minero. En Concepción el promedio del contenido de cobre de los minerales tiene que importar más ó menos 5 por ciento cuando son explotables. En Alemania sería mucho más bajo y de esto resulta que el aspecto de los salones vaciados y también la forma aparente de los criaderos sería otra.

2 En tiempos pasados los minerales sulfurosos de las partes superiores muy principalmente de la mina El Guaje fueron enviados á las minas de plata de Zacatecas, es decir, á una distancia de 250 kilómetros en línea recta para preparar el magistral (principalmente sulfato de cobre) tan importante para la amalgamación de la plata.

de un metro cúbico en las cuales predominan principalmente granate y chalcopyrita. Con frecuencia tuvo lugar una formación abundante de wollastonita y cuarzo en ambos lados de una vena de chalcopyrita granatífera y es indudable que la caliza ha sido sustituída entonces por una adición de ácido silícico ó ha sido transformada en el silicato de cal. A veces el mármol entero está atravesado por discos de wollastonita de más de un decímetro de tamaño, por chalcopyrita, esfalerita, un poco de hematita y cuarzo (en parte como ametista), además, por un poco de tetraedrita de modo que fragmentos nuevamente desprendidos de este género tienen el mismo aspecto magnífico que las masas de contacto de Campiglia Marítima en Italia. Grandes ensanchamientos en la pared del Guaje indican los lugares en donde fueron extraídas en tiempos pasados tales masas de silicatos cupríferos del mármol. En El Guaje no aflora ninguna roca eruptiva; las materias generadoras de silicatos y menas inmigraron al contrario desde la granodiorita á través del mármol á lo largo de hendeduras y tejidos de grietas transformando en parte á éste ó sustituyéndolo totalmente. En el detalle muestra esta explotación superficial las mismas condiciones que determinan el desarrollo del fenómeno en su totalidad cerca de Aranzazú.

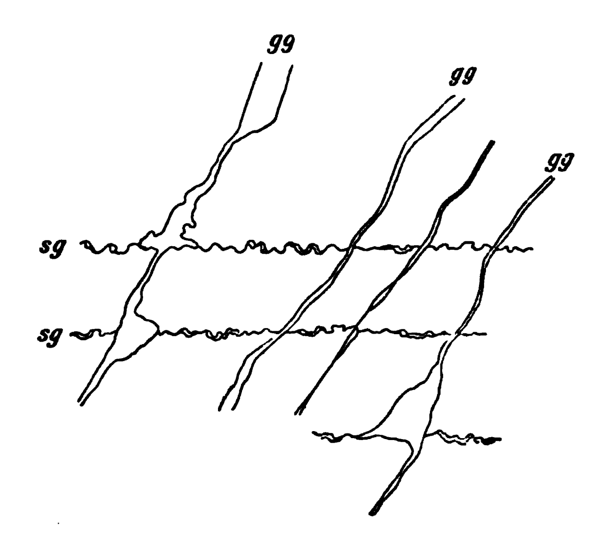


Fig. 11.—Formación de granate á lo largo de grietas (gg) y á lo largo de los planos de estratificación (sg) en la caliza con Nerineas arriba de la explotación superficial de Jaime en Aranzazú.

Escala 1: 20.

Como lo dice Villarello, las masas de silicatos y menas cupríferas no se hallan en lo general en el contacto inmediato de la roca eruptiva con la caliza; pero la zona en la cual se presentan en la caliza al lado de éste, no parece ser generalmente más ancha que 100 m. Según la indicación de Villarello, sin embargo se halla la mina San Juan, cuyo mineral principal parece componerse de tetraedrita, á una distancia de 180 m. del contacto (comp. la figura esquemática 13).

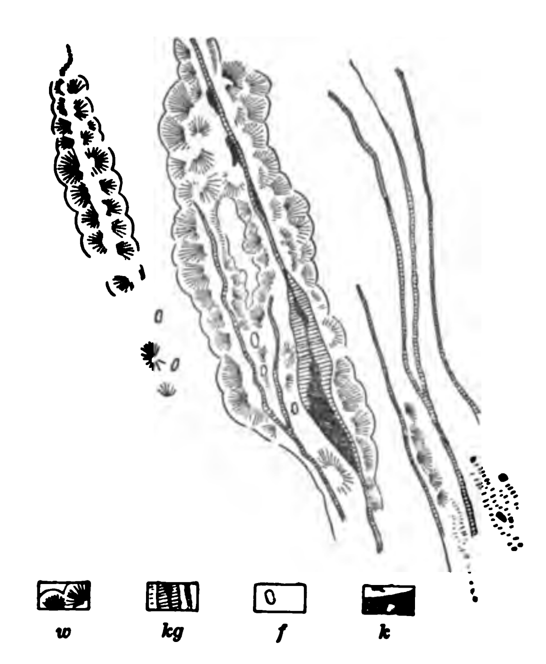


Fig. 12.—Depósito de cuarzo, silicatos y menas á lo largo de las grietas en el mármol de la mina El Guaje, *w* wollastonita radial con cuarzo; *kg* venas de granate con chalcopyrita; *f* tridimita en cuarzo; *k* chalcopyrita. Las partes marmorizadas por adición de mineral pudieron ser limitadas en dos lugares por líneas sinuosas á lo largo del cuarzo de los agregados de wollastonita. En la mayor de las dos zonas mineralizadas se encuentra á la izquierda arriba del centro un resto alargado de un mármol poco alterado. Escala 1:10.

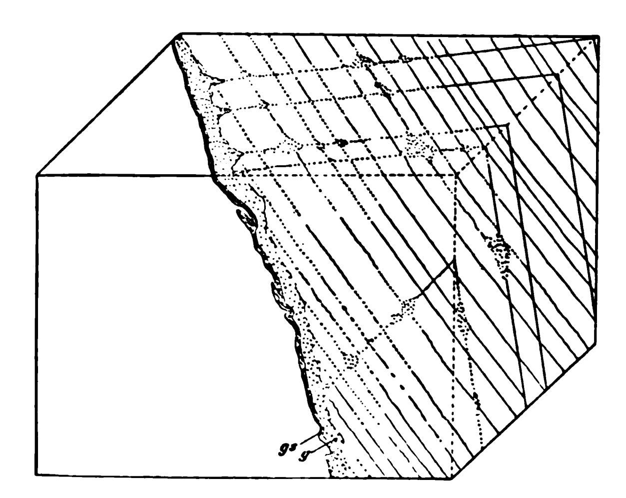


Fig. 13.—Representación esquemática de las formaciones del contacto en el Socavón General de Aranzazú. La figura representa una sección cúbica de la zona de contacto; la arista horizontal anterior tiene la dirección E.W. A la izquierda sin signo la granodiorita, á la derecha la montaña calcárea cuyas capas tienen un rumbo de N.37° W. y un echado de 65° W. En dirección perpendicular á esto y más ó menos también al contacto se extienden cinco grietas con rumbo de N.80° E. y con echado de 75° S. *gs* indica la cinta de granate, es decir, la transformación de la granodiorita en roca de granate; *g* la zona de rocas de silicato (y granate) más ó menos metalífera en el contacto inmediato. Todos los otros lugares punteados á lo largo de los planos de estratificación y de grietas y sobre todo adonde se cortan ambos indican depósitos de cuarzo, silicatos y menas que pueden formar enriquecimientos en forma de bolsitas y tubos. Cortes transversales de estos son indicados por los lugares irregularmente punteados en la superficie del cubo. Escala aproximada 1: 3000. La potencia de la cinta de granate *gs* ha sido exagerada muchísimo en la figura.

Como lo indican los planos de las minas, muchos de los salones de explotación tienen una forma de un tubo que se asemejará probablemente en lo general también á la forma de las masas metalíferas de silicato. Las indicaciones siguientes sobre sus dimensiones las tomo de la descripción publicada por Villarello. Los criaderos de Hundido y Jaime situados en el contacto mismo que afloran en la superficie y en los cuales se presentan con preponderancia menas oxidadas, tienen un diámetro de 4–12 y hasta de 30 m.; el de San Agustín es de 3 á 8 metros; el de Las Palomas de 4–6 m.; el de Abundancia 16 m. teniendo también esta última menas oxidadas que deben haberse extendido en la roca alterada hasta más allá del criadero original. Los cuerpos de menas de la mina de San Carlos por lo general también compuestos de minerales secundarios alcanzan potencias hasta de 12, 14 y 16 m. muy particular y claramente reconocible es muchas veces cierto paralelismo en el rumbo y echado de las masas de minerales de cobre. Algunos ejemplos muestran esto:

Socavón general;	criadero	Hundido-Jaime,	rumbo	39° S.W.,	echado	70°
,, ,,	,,	Palomas,	,,	89 S.W.,	,,	70
,, ,,	,,	Abundancia,	,,		,,	70
San Carlos;	,,	San Carlos,	,,	76 N.W.,	,,	54
,, ,,	,,	Los Bronces,	,,	76 N.W.,	,,	54

Aquí se presenta el mismo fenómeno que en la forma de muchos criaderos metasomáticos en calizas, como por ejemplo, en el Monte Poni, en Kreuth en Carintia, en el Norte de Inglaterra, en la región del Mississippi y de Missouri y probablemente en Mapimí, México. Este se puede explicar por la circunstancia que el depósito de minerales se efectuó con preferencia en aquellos lugares á expensas de la caliza en donde sistemas de grietas con la misma dirección ó grietas paralelas atraviesan planos de estratificación paralelas; es posible que en algunos casos ciertos horizontes de caliza puedan haber sido más fácilmente accesibles á la lixiviación que otros. Según lo dicho arriba tales relaciones entre capas calcáreas y grietas existen en efecto tanto en el Socavón como en San Carlos. En ambos lugares el rumbo de las capas es de N.35° W., el echado más ó menos 65°S.W., teniendo las grietas por lo general un rumbo E.W. y un echado variable por lo general bastante inclinado, dirigido en el Socavón hacia el Sur, en San Carlos hacia el Norte. Villarello demuestra que las líneas de sección calculadas poseen efectivamente más ó menos las direcciones del echado propias de los cuerpos de menas. Los criaderos se formaron, pues, por el ascenso de los agentes mineralizadores por grietas y por su expansión en los cortes de ellas con ciertos planos de estratificación. Apenas se puede pues suponer que el carácter químico de algunos bancos de caliza con Nerineas pudiera haber fomentado el depósito de las menas por ser el contenido de alúmina y el resto de la composición química de dichas capas por lo general muy constante. En cambio quizá no es imposible que la tendencia variable

de formar grietas y separaciones que á su vez sería una consecuencia de su estratificación más gruesa ó más delgada, debería tomarse en cuenta para la explicación de la mayor ó menor facilidad de transformación de ciertos horizontes calcáreos.

El carácter mineralógico de los criaderos se ha indicado más arriba. Parece que la roca de diopsida se formó en el contacto en primer lugar (comp. p. 64) habiendo sido esta entonces como ya lo dijimos antes, transformada en roca de granate. Al mismo tiempo seguramente tuvo lugar la formación de la cinta de granate mencionada ya arriba y observada en la mina Jaime, habiendo sido transformada hasta la roca eruptiva por una adición notable de materias, en granate de cal, alúmina y fierro. Los agentes que formaron el granate encontraron su camino en la caliza á lo largo de separaciones entre las capas y de grietas, efectuándose el depósito del granate en formación contemporánea con la chalcopyrita y un poco de esfalerita. Un poco más moderno que la formación de granate es el depósito de wollastonita y del cuarzo; en donde aparecen ambos en la caliza tuvo muchas veces lugar la adición subsecuente de materias claramente á lo largo de un hilo de granate. En ambos lados de semejante grieta ó entre varias de éstas se transformó la caliza en aquellos dos minerales. Se ve claramente que su depósito se extendió desde esas grietas y nada habla en favor de la circunstancia de que estas últimas se hayan abierto en la mezcla mineral formada y que hayan sido rellenadas con granate y sus menas acompañantes. La observación de que el granate es por lo general contemporáneo con el resto de las formaciones minerales, pero que su origen empezó lo más temprano, es también aquí exacta.

Algunas muestras del Socavón General consisten en su mayor parte de una piedra córnea con silicatos verde sucio hasta pardo rojizo que pasa en parte á una roca de granate con cristales más gruesos. Al lado del granate se ve también espato calizo, cuarzo (ametista), chalcopyrita y sus productos de alteración sulfurosos, además más ó menos wollastonita atravesada por esfalerita amarilla y sulfuros de cobre. El espato calizo y el cuarzo forman entonces frecuentemente en la roca de granate una especie de relleno de drusas cuyas paredes están revestidas por cristales de granate, pero no dejan nunca reconocer una estructura concéntrica en capas ú otros indicios que pudieran probar que hayan estado vacías ó abiertas alguna vez. El fenómeno en su totalidad produce la impresión de que durante el proceso á causa de la contracción y fracturamiento al cristalizar y enfriarse, se haya formado de nuevo lugar para otros depósitos sin que se observen grietas verdaderas con salbandas. Las segregaciones minerales no se efectuaron en períodos de formación bien limitados; en donde se presentan masas en forma de diques de wollastonita se puede observar que tienen siempre á semejanza de segregaciones miarolíticas, por decirlo así, sus raíces en la masa que las encierra.

Ya Villarello dice que el carácter del depósito mineral es netamente me-

tasomático; el carbonato de cal ha sido llevado ó empleado para formaciones nuevas en la misma escala, en la cual las últimas se formaron por adición de materia. Falta pues toda delimitación marcada de los criaderos minerales en relación al mármol ramificándose aquellos en este último que puede ser sustituído parcialmente por formaciones nuevas adicionadas ó recristalizado en espato calizo de grano grueso. Cavidades drúsicas están enteramente subordinadas no pudiendo observarse una estructura en capas verdaderas como hubiera podido existir en una cavidad preexistente.

El número de los minerales primarios que existen en los criaderos de Aranzazú es pequeño. Observé espato calizo cristalino, cuarzo, wollastonita, granate verde, amarillo verdoso ó amarillo, chalcopyrita muchas veces transformada en bornita, chalcosina ó cobre oxidulado ferrífero, hematita, esfalerita amarilla ó verde clara, un poco de tetraedrita arsenical y muy poca tremolita. La magnetita no se encuentra en ninguna de mis muestras de Aranzazú; parece faltar por lo menos en los criaderos relacionados con grietas ó existir á lo sumo en muy pequeñas cantidades. Diopsida sólo la observé en muestras que parecen provenir del contacto inmediato. En su totalidad todos estos minerales están íntimamente ligados entre sí, sin mostrar casi nunca caras de cristales y dan muy poco lugar para observaciones.

La wollastonita es el componente más característico de los criaderos de Aranzazú habiendo sido tomada allí por tremolita, pues sus bellos agregados radiales atravesados por cuarzo, espato calizo y sulfuros en parte también por un poco de granate amarillo se asemejan realmente á primera vista á ese mineral. Sin embargo, el examen de láminas y de preparaciones en polvo dió á conocer su verdadera naturaleza; por medio de ácido clorhídrico diluído es fácilmente alterable y deja entonces el depósito de un esqueleto silizoso. En ninguna de mis muestras de Aranzazú se encuentra la wollastonita enteramente fresca, habiendo sido alterada á veces muy profundamente por las soluciones ácidas del sulfato de fierro formadas por la descomposición de la chalcopyrita y teniendo con frecuencia colores pardos ó verdosos. Ya por el examen al soplete se reconoce un contenido considerable de manganeso que se manifiesta en un estado de descomposición avanzada por películas negras, siendo por lo tanto las muestras bastante frescas con frecuencia rojizas. En láminas la wollastonita está íntimamente ligada con el resto de los minerales; á veces se reconoce la formación de gemelos según $\infty \underline{P} \infty$ penetrándose entonces mutuamente los individuos en campos angulosos. $\infty P \infty$ es la cara del crucero principal y los individuos han estado ligados en agregados radiales y hojosos más ó menos paralelos con ella. Las direcciones de extinción forman por lo general ángulos bastante grandes con la dirección longitudinal de los individuos comprobando también las otras condiciones ópticas que estos últimos han sido formados en láminas tanto en la dirección del eje $\mathfrak{c}$ como en la del eje simétrico y no en varillas según esta última como se observa generalmente cerca de Concepción.

Se eligieron con la lente partículas bastante puras de una muestra muy fresca de una wollastonita de color de carne procedente de la mina San Carlos siendo su peso específico 2.88. El examen químico lo hizo el señor Prof. Dr. Dittrich, pero desgraciadamente quedó incompleto dada la pequeña cantidad de substancia que tuvimos á nuestra disposición. El resultado fué:

	I	II	Wollastonita
SiO_2	46,71	46,62	51,75
Al_2O_3	0,69	0,61	
FeO	huella	huella	
MnO	2,62	2,62	
CaO	34,25	34,24	48,25
MgO	0,85	0,86	
K_2O	0,08		
Na_2O	0,18		
SO_3	1,15		
Pérdida al rojo	9,23	CO_2 4,57; H_2O 4,66	
	95,76		

El examen posterior del material en la lámina dió el resultado que la wollastonita es bastante alterada habiéndose formado de nuevo espato calizo y que está atravesada finamente sobre todo por un cuarzo y espato calizo primario. El ácido sulfúrico, cuya existencia fué comprobada, hace suponer que las pyritas alteradas han contribuído á la descomposición. El contenido considerable de manganeso sólo puede explicarse como componente de la wollastonita, la cual muestra pues como la de la Piedra Cargada (comp. p. 53) la fórmula (Ca, Mn) SiO_3. Tomando en cuenta que en dicho análisis 5.81% CaO debe considerarse como carbonato y hasta 0.80% como sulfato resulta la relación del peso MnO : CaO = 2.62 : 27.64 (relación molecular 4 : 49), lo que es siempre bastante alto.

Una lámina á través de otro agregado de wollastonita muestra el mineral en estado casi completamente alterado bajo la forma de un agregado de abundantes romboedros de espato calizo desarrollados en parte como esqueletos, de epidote incoloro y de mucha substancia que se asemeja á calcedonia. La última se reconoce por su resistencia al ácido clorhídrico y por su refracción entre 1.54 y 1.55. A mayor aumento se disuelve en un agregado de hojas y fibras finísimas, las últimas en parte en forma de pequeñas esferolitas con carácter positivo. Escamas más grandes y una especie de varillas con frecuencia un poco fracturadas resaltan de la pasta fundamental en parte esferolítica finamente radial por su refracción un poco mayor. Tiene una doble refracción un poco más fuerte siendo negativo el carácter óptico de las varillitas. En la lámina el primer agregado con menos refracción aparece á consecuencia de partículas finísimas esparcidas en él con un color pardo claro; aquellas formas de mayor tamaño son en cambio incoloras. Hasta donde la extinción ondulosa de la última lo deja reconocer, la dirección de la elasticidad mayor parece formar á lo sumo un ángu-

lo muy pequeño con la dirección de las varillas. En el agregado se observan pseudomorfosis claras según prismas de wollastonita consistiendo en el núcleo de espato calizo, el resto de calcedonia parduzca y siendo encerradas por una cinta fina de la substancia con doble refracción más grande.

Con frecuencia se ve que también las hojitas y varillitas de la última poseen una estructura finamente fibrosa la que produce la extinción ondulosa é impide la decisión segura si el mineral incoloro tiene uno ó dos ejes ópticos. Es posible que las varillitas no sean individuos sencillos sino más bien agregados polisintéticos de prismas fibrosos perpendiculares á la dirección longitudinal cuyo carácter óptico sería entonces positivo; así pues, se podría tomarlos por cuarzo finamente fibroso. En favor de esto es también la doble refracción que engendra en la lámina de un espesor de 0.07 mm. colores de interferencia hasta el azul de segundo orden. Pero indudablemente existe entonces al lado del cuarzo todavía otro mineral silizoso que se parece á la calcedonia.

Además de la transformación de la wollastonita en espato calizo, calce donia y un poco de epidota cuya existencia se revela por la presencia de alúmina, se encuentra también una transformación en nontronita[1] que describí en otro lugar. La nontronita se encuentra en grandes cantidades principalmente en el terrero de la mina San Carlos. Una muestra de este lugar fué lavada con agua y limpiada entonces con acetileno tetrabromado. Resultó un polvo muy fino de 2.29 de peso específico, demostrando al microscopio impurezas en forma de particulitas finísimas de granate, epidota y quizá también de diopsida y de un poco de limonita. Sin embargo, el polvo es bastante puro y le falta sobre todo lo que es muy importante para la interpretación del análisis siguiente, toda la mezcla de ácido silícico libre con excepción de fragmentitos poco numerosos de cuarzo, habiendo resultado por el examen también la ausencia de carbonatos.

El Sr. Dr. Fraatz, químico del laboratorio de la mina de Clausthal, analizó bondadosamente el polvo y encontró la composición siguiente al lado de la cual publico los cálculos para encontrar la fórmula química. Partí de la suposición que el polvo haya sido mezclado con granate, que la magnesia exista como $MgSiO_3$ y que la nontronita sea un ferrisilicato hidratado en el cual un poco de Fe_2O_3 puede ser sustituído por Al_2O_3.

El cálculo da entonces para la nontronita la fórmula:

$$Si_9 O_{28} Fe_4 H_8, \text{ igual á } 9 \, SiO_2 . 2 \, Fe_2O_3 . 4 \, H_2O.$$

SiO_2	57,64
Fe_2O_3	26,14
Al_2O_3	4,09
CaO	2,27
MgO	1,90
H_2O á más de 110°	6,90
	98,94

Los álcalis no se determinaron.

1 Centralbl. f. Min. etc. 1909, p. 161-168. Rev. Soc. Alzate, t. 27, p. 54.

			Oxígeno		Calculado en 100 %	Al_2O_3 Calculado en Fe_2O_3	Cantidad teórica $Si_8O_{28}Fe_4H$
SiO_2	52,29	Nontronita	27,75		59,40	58,38	58,09
Fe_2O_3	26,14		7,85	9,12	29,68	33,92	34,21
Al_2O_3	2,71		1,27		3,08		
H_2O	6,90		6,13		7,84	7,70	7,70
	88,04				100,00	100,00	100,00

SiO_2	2,45	Granate
Al_2O_3	1,38	
CaO	2,27	
	6,10	

SiO_2	2,90	$MgSiO_3$
MgO	1,90	
	4,80	

Una descripción de los caracteres microscópicos de la nontronita ha sido publicada en el lugar citado.

El granate se presenta en masas compactas y en cristales grandes con un color amarillo pardusco en los fenocristales pequeños con un color amarillo de miel raras veces también azul verdoso. Los cristales amarillo-parduscos mostraron casi siempre solamente ∞O, habiendo sido encontrado al medir una vez también $\infty O2$ [1] como una cara completamente secundaria.

Hornblenda semejante á tremolita ha sido aislada una vez bajo la forma de individuos muy pequeños de un dique de granate. Las fibras que se extinguen oblicuamente son netamente pleocroíticas siendo $\mathfrak{b}$ incoloro, $\mathfrak{c}$ pardusco; la zona longitudinal es ópticamente positiva, $\mathfrak{a}$ es bisectriz aguda.

Pyrita se encuentra en muy poca cantidad siendo mucho más común la chalcopyrita con la bornita que ha sido formada de ella. Mas rara es la chalcosina. Cristales poco claros esfenoidales de chalcopyrita los obtuve una vez por disolución en ácido acético de una masa de espato calizo con silicatos y menas. Hay que mencionar además tetraedrita. Se observa con frecuencia bajo la forma de inclusiones compactas insignificantes en el Guaje, acompañada principalmente por cuarzo. Según Villarello existe en gran cantidad en la pequeña mina San Juan, distante del contacto granadiorítico 180 m. hacia el Oeste. Entre dos muestras de mayor tamaño que me regalaron en Aranzazú, una contiene el metal compacto acompañado por mucho cuarzo y un poco de granate amarillo, la otra una cubierta de tetraedrita sobre chalcopyrita acompañada por espato calizo y cuarzo. En los cristales de más de un centímetro observé $\infty O, \frac{202}{2}$ al lado de $\frac{O}{2}$ preponderante. Según el análisis cualitativo es tennantita. Zinc, cadmio, antimonio, bismuto, estaño y plata faltan ó están á lo sumo representados por huellas. Una tercera muestra de tetraedrita que tiene al lado del cuarzo también mucha pyrita y sólo poca chalcopyrita procedente quizá de un afloramiento al exterior de la zona de contacto, contiene en drusas pequeñas cristalitos de anglesita.

1 Las medidas de las caras un poco desiguales y ásperas dieron $n = 1.959$ respectivamente 1.937.

Las menas explotadas en Aranzazú y entregadas á la hacienda de beneficio de Concepción contienen un promedio de 5 por ciento de cobre y al lado de un poco de oro 240 gr. de plata por tonelada (0.024 por ciento). En el año de 1906 se extrajeron mensualmente más ó menos 7,000 toneladas.

Formaciones minerales secundarias se encuentran con preferencia en las capas y explotaciones superficiales más altas. Menciono como tales nontronita, cuarzo, calcedonia, espato calizo, azurita, malaquita, allofana, cobre oxidulado ferrífero, chalcosina compacta, hematita. Como nadie se preocupa de la colección de minerales me tuve que contentar con hallazgos ocasionales en las acumulaciones de metales, terreros y materiales para el alto horno, siendo así las muestras no muy notables cristalográficamente, ni completa la lista dada del número de los productos comunes de la transformación.

Llama la atención la presencia de grandes cantidades de cuarzo muy reciente en los afloramientos alterados. Los individuos más grandes de un espesor de varios centímetros con R, — R, ∞ R, consisten de una penetración mutua subparalela de varios cristales cuyos ejes principales están inclinados de tal manera los unos contra los otros bajo ángulos muy pequeños, que los individuos no tienen ninguna arista común. De las seis caras de pirámide de un cristal grande prismático corto resalta con inclinación muy pequeña del eje principal (más ó menos 6°) de tal modo el vértice de una pirámide un poco más pequeña que las seis pirámides tienen más ó menos las mismas aristas marginales que la pirámide central. Fenómenos semejantes se observan respecto á las caras prismáticas. Muchos de esos haces de cristales se reunen en posición divergente en una masa que aparece en la sección transversal bajo la forma de una estrella radial de cuarzo. El cuarzo sustituyó en parte al espato calizo siendo por lo tanto á veces íntimamente ligado con granate.

Ya hablamos en la pág. 22 de la veta de mineral de cobre El Placer que está á descubierto por medio de un socavón especial no muy lejos del Socavón General. Se distingue respecto á las materias de los criaderos de contacto por su contenido de plomo, pero en cambio se asemeja á éstos por la presencia del arsénico en estado de arsenopyrita.

APENDICE: LOS CRIADEROS DE PLOMO Y DE ZINC FUERA DE LA REGION INMEDIATA DEL CONTACTO

Criaderos de plomo y de zinc parecen ser muy frecuentes en los alrededores cercanos y lejanos de Concepción. Son en parte tan insignificantes que nunca se han preocupado de su explotación, otros han sido explotados temporalmente y en otros más existió todavía durante mi presencia una explotación minera que produjo en parte minerales argentíferos de la zona de oxidación. Todos estos afloramientos no los pude estudiar con detenimiento.

Estos criaderos que se observan en la caliza parecen estar ligados por lo menos parcialmente con fallas ó existir en sus inmediaciones. Así es que se encuentran á lo largo de la línea principal de fractura en la ladera Sureste del valle cerca de Concepción, cerca del Polvorín y de Los Diamantes, existiendo en su continuación además varias pequeñas catas en el cerro de la Cruz y en su pendiente Noreste. En aquel cerro encontré baritina compacta y al otro lado de él sobre caliza cretácica brechosa costras cristalinas centellantes negras y rojizas ó amarillo-parduscas, formadas de prismas exagonales de un tamaño apenas de 0.5 mm. El examen químico comprobó que es willemita. Las costras tratadas con ácido clorhídrico ó nítrico dan ácido silícico gelatinoso y una solución de zinc y manganeso con un poco de fierro. El desarrollo abundante de Cl al tratar con ácido clorhídrico demuestra que el manganeso está presente por lo menos en general bajo la forma de MnO_2. El mineral es incoloro al microscopio pero turbio é impuro con MnO_2 ó limonita. Con la lente se reconoce además del prisma generalmente OR y un romboedro. Siendo el prisma ∞R la posición del romboedro plano indica $\frac{mP2}{2}$. El carácter óptico es positivo, la doble refracción considerable; comparando el mineral con una willemita de Altenberg en mezclas de α-monobromonaftalina y yoduro de metileno resultó con toda seguridad la identidad de la refracción de ambos minerales. Siendo la willemita relativamente rara su presencia cerca de Concepción merece ser mencionada especialmente. Está acompañada por un poco de baritina, por cristalitos de cuarzo y espato calizo y además por un poco de pyromorfita y cerusita. En la cata de metales plomosos Locomotoria, situada en frente de San Ignacio en la misma dirección, la caliza se encuentra bastante silicificada, en parte transformada en jaspe encontrándose también allí al lado del cuarzo cristalizado un poco de baritina, cerusita y pyromorfita.

Un poco más al Sureste parece existir una segunda serie de tales criaderos; por lo menos ví catas en las pendientes occidentales del cerro de Pitacoche á pocos centenares de metros de distancia de los últimos ya mencionados y otra encontré en el puerto de la Laborcilla y el cerro de los Tajos. De este lugar poseo cristales de espato calizo de un tamaño hasta de un centímetro más ó menos: OR, R; R pura, á veces con laminaciones de gemelos según $\frac{1}{2}$R; OR, R,—2R; R, —$\frac{1}{2}$R; R, OR y un mRn (?$\frac{2}{5}$R2) mate plano vecino á R. El hábito de los cristales es á veces de la forma de tablas según OR mate ó áspero ó de romboedros según R con frecuencia enteramente liso. Escalenoedros agudos faltan completamente. El espato calizo se encuentra en grietas de la caliza con Nerineas habiéndose formado juntos con él, pequeños prismas de pyromorfita é incrustaciones de carbonatos de cobre. Baritina compacta se presenta como depósito más antiguo, siendo el panino en parte silicificado.

Aquí mencionaré también la pequeña mina La Cruz arriba de Catarroyo. Extrajeron un poco de galena muy alterada, transformada en cerusita, y minerales secundarios de cobre. Entre estos últimos es muy común una

allofana de cobre formando masas compactas en una substancia parda semejante á bolo ó hilos de color pardo verdoso que uno pudiera tomar á primera vista por chrysocola pero que se distinguen de ella por su dureza pequeña (más ó menos 3) y por el hecho de que son untuosas al tacto. La intensidad del colorido varía desde tintas claras hasta verde-esmeralda obscuro. En drusas se presenta con formas superficiales estalactítico-botroidales, pero nunca con indicios de una cristalización. Cerusita y espato calizo lo incrustan y lo penetran.

Estas formaciones nuevas se reconocen en su modo de aparecer por los caracteres de un coloide solidificado no completamente homogéneo. En masas compactas son transparentes con rotura anguloso-astillosa ó conchoidal no muy clara y muestran grietas de desecación. La superficie posee un lustre graso pudiéndose reconocer con la lente parcialmente indicaciones de una estructura fibrosa radial. Al calentar al rojo el mineral da mucha agua y se transforma poco á poco en una masa semejante á esmalte, negra ó negro-verdusca sin que la forma de las astillas cambie.

Las astillas muestran al microscopio una estructura netamente fibrosa y concéntrico-conchoidal con una separación notable en planos muy lisos generalmente paralelos á las fibras, que se asemejan netamente á planos de cruceros. La refracción es de 1.58-1.59 siendo la doble refracción bastante alta. En la dirección de las fibras se encuentra el eje de elasticidad óptica menor; el rayo que vibra paralelamente á ello se absorbe mucho más y se presenta ya en astillas bastante pequeñas con un color vivo verde-azulado, mientras que á la elasticidad mayor corresponden tintas más claras.

El mineral se destruye poco á poco por el ácido acético, en tiempo muy breve con ácido clorhídrico. Esta destrucción se efectúa por una lixiviación que progresa de afuera hacia adentro quedando un depósito de ácido silícico gelatinoso desapareciendo más y más la substancia verde con mucha refracción y doble refracción en el centro de la forma antigua y quedando en su lugar ácido silícico con doble refracción débil, fácilmente teñible por materias colorantes orgánicas. Causa la impresión como si del tejido del ácido silícico hubieran sido lixiviados los otros componentes, óxido de cobre y alúmina y que por esto la tensión disminuiría, la cual había antes ocasionado la doble refracción alta. En los restos transparentes de ácido silícico móviles en el líquido como películas orgánicas se reconocen todavía las fibras anteriores con el mismo carácter de la doble refracción.

El examen químico cualitativo dió como componentes principales ácido silícico, agua, óxido de cobre y alúmina. Al hervir el mineral con agua se obtiene en el extracto concentrado muy pequeño, una huella débil de ácido sulfúrico. La presencia de poco fierro, cal y plomo se explica por las impurezas ya mencionadas.

Una serie de criaderos de zinc y plomo se explota al Oeste de Aranzazú. Recibí de la mina San Eligio una magnífica smithsonita teñida por cobre, verde mar, bajo la forma de muestras transparentes arriñonadas bo-

troidales. Las muestras más bellas tienen una superficie de los riñones formada por romboedritos subparalelos, cuyo reflejo produce un lustre semejante á terciopelo. De San Eligio parecen provenir también muestras con fluorita morada y verde, cuarzo y espato calizo, pyrita $\left(\frac{\infty O 2}{2}, \infty O \infty\right)$, con mucha esfalerita pardo clara, un poco de galena y un poco de tetraedrita. Por último, poseo de la mina San Vicente piromorfita amarillo de cera, ó de naranja y amarillo verdosa ó verde de pasto. Forma generalmente masas enteramente compactas botroidales, incrustadas á veces por espato calizo y en parte también agregados radiales de prismas.

Lista de minerales

Doy en seguida una lista que enumera, con indicación de las páginas del texto, los minerales que se presentan en la Región de Concepción, por lo general no bajo la forma de segregaciones primarias de la granodiorita, sino en las rocas de contacto y los criaderos y que han sido mencionados ó descritos en la parte anterior de este trabajo. Fueron encontrados con pocas excepciones por mí mismo. La lista no comprende seguramente el gran número de minerales, sobre todo de formaciones secundarias nuevas en las partes superficiales que deben encontrarse según toda probabilidad, no pudiendo ser tampoco las descripciones dadas algo completas por basarse solamente en el material de hallazgos ocasionales. La enumeración debe dar únicamente una idea de la riqueza en minerales que pudiera ser completada por colecciones sistemásticas por parte de los mineros.

RESUMEN

Las investigaciones anteriores se refieren á un campo de observación que se extiende sobre una región de varios kilómetros de longitud á ambos lados del límite de contacto entre una granodiorita y capas mesozoicas compuestas principalmente de calizas muy puras casi exentas de alúmina y magnesia, más ó menos silizosas. El examen microscópico y químico de la roca eruptiva demostró que el magma tiene una composición bastante variada también á pequeñas distancias. Por otra parte, faltan aparentemente productos de una separación magmática profunda, rocas de diques especiales y una zona marginal química y mineralógicamente bien definida sin tener en cuenta aplitas ocasionales. Sin embargo, es cierto que las rocas marginales presentan ciertas particularidades de estructura.

La metamorfosis de contacto tuvo lugar bajo migraciones muy considerables de materia, tanto desde las capas hacia el magma eruptivo, como sobre todo desde el último hacia las primeras. La absorción de materias por la roca consiste principalmente en una adición de cal, la cual se efectuó en parte por reabsorción en el magma líquido, en parte también por una migración difusiva en la roca totalmente ó casi totalmente solidificada.

La reabsorción de cal por el magma líquido conduce á la segregación de granate y diopsida encontrándose ambos también como minerales de contacto en la región de la caliza cercana. La diopsida como acompañante del granate en las rocas transformadas por una adición de cal se distingue de la diopsida normal de la granodiorita por la falta casi completa de inclusiones ordinarias más antiguas y en parte también por sus formas exteriores. La estructura de semejante roca que se observa en forma de dique en la Piedra Cargada, se parece con frecuencia á la estructura de contacto, siendo las plagioclasas no como se habría podido esperar más básicas, sino más ácidas que en la roca normal. Cuarzo, hornblenda y mica no han sido segregados. La roca de la Piedra Cargada en la cual un contenido reabsorbido de cal de más ó menos 10 por ciento se segregó de nuevo bajo la forma de granate y diopsida, tiene por lo tanto un carácter completamente anormal. En cambio no se encontró cerca de Concepción ninguna indicación de que la reabsorción de caliza haya influenciado la relación cuantitativa entre los componentes normales de la roca eruptiva reabsorbente, de modo

que la zona marginal estaría formada por una diorita normal con hornblenda preponderante ó con pyroxena predominante ó de un gabro con plagioclasa más básica; entonces se habrían efectuado cambios de carácter general petrográfico por la adición de cal, así como se les considera comúnmente como consecuencia de una diferenciación magmática.[1] Tomando en cuenta el pequeño contenido de magnesia de las calizas reabsorbidas, de ningún modo se podría explicar seguramente por tal adición de materia la aparición en parte más considerable de pyroxena y hornblenda. Como lo demuestran los análisis de las granodioritas (pág. 12-13), existe seguramente una relación primaria entre el contenido de cal y de magnesia de las rocas; cuando aquel es más considerable también éste muestra valores más altos. En donde se reabsorbió aquí cal se formaron de nuevo minerales de contacto.

La segregación de granate y diopsida de la roca del dique de la Piedra Cargada tuvo lugar sin formación de pseudomorfosis comprobando además la naturaleza de la roca el hecho de que todavía no se habían formado casi ningunos fenocristales cuando el magma había entrado en la esfera de la caliza.

Muy distinta es la transformación de la granodiorita en roca de granate en el contacto inmediato con la caliza; se efectuó en la roca completamente ó casi completamente solidificada formando el granate en parte con diopsida, wollastonita, cuarzo y un poco de espato calizo, pseudomorfosis según plagioclasa, hornblenda y pyroxena. La mica con todos los otros componentes desapareció completamente, la apatita se recristalizó. El análisis dió el resultado que la transformación se realizó por medio de una adición considerable de cal, óxido de fierro y quizá también alúmina y que las substancias alcalinas fueron casi completamente expulsadas. El granate ha de ser un granate de cal, alúmina y fierro. El fracturamiento de los componentes que están por transformarse y de las pseudomorfosis comprueba que la formación de esta cinta de granate se efectuó bajo fenómenos de presión simultáneos.

La transformación de la roca eruptiva en roca de granate y la formación de roca de granate de la caliza son la consecuencia de un mismo proceso. Ambas zonas de granate están íntimamente ligadas teniendo el granate de los dos lados el mismo color; solamente la estructura es aquí por lo general más gruesamente cristalina y drúsica, mientras que las pseudomorfosis de feldespato indican allí la roca eruptiva anterior. El granate forma la mayor parte de la zona de contacto, siendo secundarios la vesuviana, diopsida, escapolita, que son contemporáneas con el granate, y wollastonita, cuarzo y espato calizo que se depositaron después de haber empezado la formación del granate. Sin embargo, todo indica que la cris-

1 Véase la opinión contraria Lacroix, Guide des excursions du VIII Congrès géol. intern. 1900. Heft III, p. 15-17.—Idem, Les transformations endomorphiques du magma granitique de la haute Ariège, au contact des calcaires; Compt. rendus d. séances de l'Ac. d. Sc., 7 déc. 1896.

talización del granate continuó durante varias fases de la formación mineral empezando ya con la segregación del silicato del magma enriquecido por cal y encontrándose por otra parte el granate todavía en los últimos depósitos de grietas en la caliza. Especial mención merece la transformación de diopsida en granate que se observa en las rocas de contacto de Aranzazú. El granate es aquí claramente de la misma clase que el que se encuentra con frecuencia en otras partes de las formaciones de contacto, habiéndose efectuado indudablemente la transformación todavía durante la metamorfosis de contacto y explicándose ésta por una adición de alúmina y óxido de fierro por parte de la molécula de diopsida. La transformación de diopsida en hornblenda semejante á actinolita, que se observa al mismo tiempo, está quizá relacionada con ese fenómeno.

La relación entre la roca de granate formada de la caliza y la cinta de granate conduce á resultados importantes. La granodiorita era en el contacto una roca por lo menos ya en su mayor parte sólida, ya no pudiendo pues, reabsorber por fusión las grandes cantidades de cal que la han transformado en roca de granate. Por la misma razón tampoco se puede suponer que estaba todavía apta á perder las cantidades de materia que necesariamente tuvieron que adicionarse á las calizas muy puras casi libres de alúmina, fierro y ácido silícico para transformarlas en agregados de silicatos. Dos agentes que motivaron la formación de las rocas de silicatos á ambos lados del contacto han de haber subido desde abajo de un magma todavía no solidificado, es decir, desempeñaron el papel de adiciones de materia en su relación con la roca eruptiva transformada bajo su influencia y ya enteramente ó en su mayor parte solidificada. Estas adiciones repetidas parecen haber engendrado las vetas subordinadas adentro del macizo eruptivo, como por ejemplo, las vetas de turmalina y cobre y la veta El Placer, siendo sin embargo el contenido de minerales de la última enteramente secundario y en varios sentidos como diremos más adelante, diferente de los criaderos en parte muy importantes á lo largo del contacto. La presencia de cal debe haber inducido por lo tanto á los agentes ascendentes á perder totalmente ó en parte su substancia. Respecto á la naturaleza de aquellos agentes, nada habla en favor de la suposición de que hayan sido soluciones de agua, pues con excepción de un poco de vesuviana, epidota y zoisita y de las zeolitas modernas muy raras, no se presentan en las formaciones de roca de granate ningunos silicatos hidratados. No se puede pensar tampoco en una refusión por no mostrar la granodiorita ni en la proximidad inmediata de la cinta de granate una huella de fusión.

Con gran seguridad se puede pues pretender que la formación de granate de este lado, así como más allá del límite del contacto tuvo lugar á consecuencia de penetración por gases ó de una difusión con temperatura relativamente baja. Esta última no puede haber sido más alta que 1420° aproximadamente al principio del fenómeno, por corresponder ésta al punto de fusión del labrador $Ab_1 An_1$ y en fases ulteriores no puede haber si-

do más que 1180° aproximadamente y 800°[1] respectivamente por ser la existencia de wollastonita y cuarzo solamente posible hasta estas temperaturas. Los gases penetraron difundiendo las rocas sólidas calientes y ocasionaron aparentemente un cambio completo de materias en ambos lados del contacto bajo formaciones nuevas entera ó casi enteramente iguales. Por la inmigración de cal fueron eliminadas en su mayor parte las substancias alcalinas de la granodiorita transformada según lo indica el análisis. Siendo muy pequeña la potencia de la cinta de granate su cantidad pudo ser solamente pequeña, siendo difícil por lo tanto probar dónde se quedaron; pero quizá se debe buscarlas en el contenido de plagioclasa del mármol epidotífero, en la escapolita y en la vesuviana. Al suponer una penetración por gases de la roca caliente se explica también con facilidad la transformación de los riñones y lechos de sílice en el mármol. Sin que este último contenga muchos silicatos aquellos pueden ser transformados completamente ó por lo menos en su superficie en roca de granate. Ellos mismos no contienen casi ninguna cal y apenas fierro, ó alúmina, no muestran tampoco una huella de disolución; habiendo penetrado cal, fierro y alúmina á mayor ó menor profundidad en los riñones de sílice por medio de difusión.

Mencionaremos aquí que sólo se pudo encontrar muy raramente un poco de apatita en las rocas de contacto en cuanto éstas se formaron de caliza.

Al transformarse las calizas en silicatos deben haberse producido cantidades considerables de bióxido de carbono. Cada metro cúbico de cal dió más ó menos 1200 kilogramos de este gas encontrándose quizá una parte de él en las inclusiones de líquido de los minerales de contacto tan frecuentes en la región. No se puede determinar el papel que desempeñó por lo demás durante el cambio de materias. Quizá el bióxido de carbono fué reducido en parte á CO y empleado para la formación de óxidos y se puede suponer también que de este modo desapareció el contenido de grafita de los sedimentos altamente metamorfizados según la ecuación conocida $CO_2 + C = 2CO$. El desprendimiento del ácido carbónico tuvo lugar bajo condiciones que impidieron una salida rápida; porque sobre el lugar de la reacción se efectuó la presión de una masa de rocas de centenares de metros cuyo rompimiento fué impedido además por su tenacidad. Las reacciones deben haber tenido lugar bajo una presión considerable y con la presencia del gas bióxido de carbono á alta tensión.

Notables son las transformaciones mecánicas de las rocas en la región del contacto sobre todo el rompimiento, la plastificación y flexión de las inclusiones quebradizas de pedernal en el mármol que por su parte no deja reconocer fenómenos de rompimiento y compresión. Aquellos cambios deben

1 Las temperaturas de transformación mencionadas deberían sin embargo ser algo más altas que los valores encontrados por experimentos en vista de la presión alta que reinaba durante el proceso.

haber tenido lugar por lo tanto durante la recristalización de la caliza cuyas moléculas deben haber presentado una facilidad para moverse semejante á la del estado de fusión. Son demasiado importantes para que se pudieran explicar por simple deslizamiento en los individuos de espato calizo. Estos últimos muestran en lo general la laminación de presión.

Es cierto que faltan todas las pruebas para la adición de fluor y boro durante la metamorfosis de contacto, pero recordaremos aquí que diques turmaliníferos se presentan en la granodiorita.

A cierta distancia del contacto inmediato la caliza puede ser transformada en un mármol penetrado principalmente por epidota, granate, pyrita y cristalitos microscópicos probablemente de wollastonita; los minerales mencionados aparecen á veces con tanta abundancia que ellos tampoco pueden explicarse de otro modo que por una adición de materia en la caliza.

Una serie de capas bastante potente de calizas cuarcíferas muestran una transformación en roca de wollastonita con todas las transiciones, desde la caliza casi normal arenosa solamente con venas microscópicas de wollastonita, hasta una roca córnea compacta de cuarzo y wollastonita. Como lo deja reconocer el examen microscópico y el contenido de ácido silícico anormalmente alto comprobado por el análisis de tales rocas, la transformación tuvo lugar principalmente bajo la adición de ácido silícico. Aquí tampoco hay indicios de que la formación de wollastonita haya tenido lugar por vía húmeda.

La wollastonita se encuentra en parte también como relleno de grietas grandes encontrándose además también otros minerales de contacto como granate, diopsida y la vesuviana con más ó menos frecuencia como depósitos epigenéticos más modernos en las suturas de las capas ó en las grietas.

La presencia de escapolita se comprobó tanto en las rocas del contacto inmediato como en las calizas menos metamorfizadas.

Los criaderos cerca de Concepción forman 4 grupos en sentido mineralógico:

1. Criaderos de contacto metasomáticos siempre con chalcopyrita.
2. La veta de cobre "El Placer" en la granodiorita.
3. Los criaderos de plomo y zinc en la caliza.
4. Diques auríferos de cuarzo.

Los diques de cuarzo auríferos mencionados en el 4º grupo tienen probablemente un origen secundario, habiéndose formado durante la descomposición de criaderos de contacto algo auríferos. De los otros tres 1 y 2 con seguridad, 3 con probabilidad, están en relación genética con el ascenso de la granodiorita. Respecto á las materias hay una diferencia entre 2 y 3 en comparación con 1 por ser en aquellos criaderos la galena el mineral esencial, mientras que falta completamente ó casi por completo en los criaderos de contacto.

La asociación de minerales de los criaderos de plomo y zinc corresponde aparentemente á la de criaderos ó diques metasomáticos ordinarios. Sili-

catos primarios no los encontré en éstos observándose como gangas baritina, cuarzo y fluorita. Suponiendo, una relación con el ascenso de la granodiorita, lo que no se puede comprobar netamente se puede admitir por otra parte que estos criaderos como con suma probabilidad los otros criaderos semejantes de plomo y zinc tienen un origen hidatógeno, habiéndose formado por segregaciones de materias del magma que se enfrió á mayores profundidades ó bien que consisten de tales componentes que pudieron migrar á mayor distancia del magma. En ambos casos se pueden designar estas formaciones minerales como *emigradas* ó *apomagmáticas*.

Los criaderos de contacto son por lo general nada más que rocas de silicato excepcionalmente ricas en minerales de cobre y parcialmente también en magnetita de la zona del contacto y deben su origen como esos á una adición pneumatolítica de materias en relación inmediata con el ascenso de la granodiorita. La veta El Placer es también cuprífera. La transformación intensa de su panino en hornblenda verde semejante á uralita, cuarzo, epidote, espato calizo y sulfuros, á la cual solamente resistieron ciertos componentes de la granodiorita como apatita, titanita y jergón y por la cual esta misma puede transformarse en parte del criadero, indica agentes mineralizadores sumamente enérgicos. Como lo comprueba la presencia de epidote tomarán parte en la composición de estos últimos, agua, vapor de agua ó por lo menos los componentes del agua. El parentezco material de la veta con los criaderos de contacto y su presencia en la proximidad inmediata de estos últimos y en la granodiorita misma, son otras razones para explicar su asociación de minerales por segregación de materias del magma profundo. Los criaderos de contacto y la veta de cobre El Placer se encuentran en la proximidad inmediata de la roca eruptiva de la cual proviene una parte de su contenido de materia; podría designárseles como *perimagmáticos*, es decir, situados cerca del magma.[1] En el mismo sentido se podrían considerar también muchas vetas de estaño, cobre, oro y oro con plata como perimagmáticos, muchos criaderos de plomo y esfalerita como apomagmáticos.[2]

Los criaderos de contacto distribuídos en toda la tierra ligadas con la proximidad de rocas profundas ácidas ó semiácidas frecuentemente granodioríticas, tienen una composición mineralógica muy variada.[3] De silicatos se encuentran á veces únicamente ó casi únicamente anhidridos siendo éste como el granate entre ellos el más común. El mineral es entonces con preponderancia magnetita al lado de pyrita, por lo general con chalcopyrita que puede ser predominante, con esfalerita y con frecuencia también con galena en menor cantidad. Otras veces, sin embargo, se encuentran con fre-

1 Más características serían quizá las expresiones: formaciones minerales "apoicas" y "paroicas" (*ἄποικος* el emigrado, el colono; *πάροικος* el criollo).

2 Véase también el capítulo "Epigenetische Lagerstätten und Eruptivgesteine" en Stelzner-Bergeat, Erzlagerstätten, p. 1202-1208.

3 Stelzner-Bergeat, l. c. p. 1131-1188.

cuencia silicatos hidratados como epidote é ilvaita, pudiendo entonces aparecer también en mayor cantidad galena mientras que la magnetita falta á veces por completo. Indudablemente la composición mineralógica actual de los criaderos de contacto no es frecuentemente el resultado de un sólo acto mineralizador, sino el de adiciones repetidas de materia, transposiciones y formaciones nuevas que tuvieron lugar en el largo tiempo en que el magma se enfrió, durante el cual se pudieron ejecutar nuevas adiciones de magma y la temperatura del lugar de reacción, así como que la composición de las materias expulsadas del magma debían experimentar oscilaciones. Por falta de investigaciones microscópicas detalladas no se conocen completamente por lo general y justamente tratándose de las localidades más importantes de este tipo de criaderos, las condiciones paragenéticas y la historia de su formación. Probablemente también resultaría que muchos silicatos de tales criaderos tomados por productos de descomposición como hornblenda, epidote y serpentina deben su existencia á adiciones y transposiciones de materias durante la formación del criadero.

Como ejemplo para la diferencia mineralógica entre criaderos en su carácter general muy semejantes, haré aquí una comparación entre los de Campiglia Marittima y Aranzazú:

Campiglia Marittima: ilvaita, pyroxena de fierro, cal y manganeso, pyroxena de cal y manganeso, parcialmente abundante galena, además esfalerita amarilla ó parda, pyrita, chalcopyrita, cuarzo, espato calizo, fluorita y epidote. Ningún granate ni magnetita.

Aranzazú: granate, poca diopsida y amfíbola, mucha wollastonita, mucha chalcopyrita, poca pyrita, bastante esfalerita amarilla ó verde, un poco de tetraedrita arsenical, cuarzo, espato calizo, ninguna ilvaita á lo sumo un poco de epidote, ninguna magnetita, aparentemente ninguna galena.

Cerca de Concepción no hay ninguna diferencia notable entre los criaderos de contacto del Este y Oeste de la región. En el Este las masas de silicato metalíferas están ligadas al contacto mismo. La chalcopyrita está aquí acompañada por mucha pyrita y ocasionalmente por magnetita abundante y preponderante, pero en cambio por poca esfalerita. La wollastonita como ganga es poco frecuente en comparación con el granate. En el Oeste cerca de Aranzazú se encuentran en cambio los criaderos á lo largo de grietas, generalmente dentro de una región que se extiende hasta más ó menos 100 m. desde el contacto. Magnetita parece faltar aquí completamente siendo la pyrita en menor cantidad, la esfalerita muy común y presentándose además tetraedrita arsenical. Al lado de granate la wollastonita acompañada por mucho cuarzo forma la matriz principal.

Respecto á la geología los criaderos de Aranzazú se asemejan á los de Campiglia Marittima. También estos últimos no están ligados en parte al contacto inmediato sino con grietas en la caliza. Las formaciones de pyroxena de allí se pueden comparar con la wollastonita de Aranzazú. La abundancia de los silicatos hidratados ilvaita y epidote, así como la falta

de granate, pudiera ser tomada aquí como una prueba de que el depósito mineral ha tenido lugar á una temperatura relativamente baja. En cambio la presencia abundante de granate es común á todos los criaderos de contacto cerca de Concepción é indica el tipo bien conocido del Banat; en efecto los criaderos explotados en el Este de la región de Concepción se asemejan mucho por su contenido en magnetita á los criaderos de Vaskö (Moravicza) igualmente ligados al contacto con granodiorita. Los criaderos de contacto de Concepción pueden por lo tanto considerarse por su carácter general geológico y su composición mineralógica como una forma de criaderos entre los tipos extremos Banat-granate-magnetita-y Campiglia Marittima-pyroxena-ilvaita-galena.

En donde aparecieron wollastonita y cuarzo al lado del granate en las rocas de silicatos de Concepción fueron por lo general un poco más modernos que el último. De esto se podría deducir que se han formado á temperaturas más bajas. En favor de esta opinión se puede mencionar además que la wollastonita se observa en rocas poco alteradas y á distancias relativamente mayores de la roca eruptiva. Del mismo modo la abundancia de la ilvaita hidratada en Campiglia Marittima podría indicar una temperatura más baja de la formación mineral. De este modo llegaría uno á la conclusión que las masas de silicato con magnetita situadas en el contacto inmediato cerca de Concepción se habían formado por lo general á una temperatura más alta que los criaderos de Aranzazú que se encuentran sobre grietas á cierta distancia del contacto, siendo libres de magnetita y caracterizados por abundancia de wollastonita.

Como todos los depósitos minerales más abundantes en el contacto de la granodiorita de Concepción, también los criaderos de contacto se formaron por una segregación enérgica de materia por parte del magma. Con excepción de la cal y de las pequeñas cantidades de ácido silícico, alúmina, fierro y magnesia contenidas en las calizas, todo el conjunto de materias de las formaciones de contacto tiene un origen magmático. Esto es cierto en primer lugar respecto al fierro que forma un componente esencial del granate, de la pyrita, de la magnetita y de la chalcopyrita. La idea de que las masas de magnetita de El Carmen hubieran sido formadas de un depósito primario y preexistente de fierro, debe ser completamente rechazada. Otras materias adicionadas en gran cantidad son alúmina, ácido silícico, magnesia, manganeso, azufre y cobre. En menos cantidad se hallan potasio, sodio, zinc, cobalto, titanio y arsénico, siendo muy raros en relación con los anteriores, fósforo, plata y oro. Los criaderos de contacto son esencialmente lo mismo que las rocas de contacto, siendo solamente más ricas en metales pesados. El modo de formación pneumatolítico admitido para aquéllos debe aceptarse también para éstos. Las relaciones íntimas con la granodiorita tienen como consecuencia que en las rocas de contacto así como en los criaderos de contacto se encuentran ocasionalmente también minerales que se observan por lo general como formaciones pneumatolíticas en las rocas eruptivas mis-

mas; citaremos apatita, titanita y sobre todo ortoclasa. Entre los silicatos que componen las masas de contacto se conocen bien como productos pneumatolíticos de transformación granate, wollastonita, vesuviana y escapolita, pudiéndose formar también el cuarzo por vía gaseosa, como lo comprueba p. e. la presencia de la liparita de Lipari en litofisas; respecto á la magnetita y la hematita este modo de formación apenas necesita mencionarse. Esfalerita y pyrita se conocen en las bombas de la Somma.

Las formaciones de contacto de Concepción son un excelente ejemplo para la alta significación de la expulsión de materias por magmas en vía de solidificarse, además dejan reconocer el papel mineralizador y repartidor de materias de la difusión gaseosa en masas de roca sólidas y fuertemente calentadas y muestran, en una escala relativamente pequeña, cómo por medio de una traslación mutua de materias las rocas eruptivas y los sedimentos adyacentes pueden transformarse en rocas química, petrográfica y mineralógicamente parecidas.

Con esto se llegaría á un punto de vista importante para la interpretación genética de numerosos criaderos minerales sobre todo en las pizarras cristalinas.

Clausthal, 12 de Marzo de 1909.



LAMINA I

LAMINA I

Fig. 1.—Punto desde donde se tomó la vista: Cerro de la Cruz. En primer término Concepción del Oro con la fundición de cobre. La cima más alta á la derecha es el Cerro del Temeroso, formado por calizas con Nerineas. El camino blanco indica aproximadamente el límite de contacto con la granodiorita predominante en el fondo. Justamente encima de la nube de humo de la fundición aparece en el horizonte el cerro minero de Aranzazú, á la derecha de éste el puerto para Mazapil.

Fig. 2.—Punto desde donde se tomó la vista: cerca de Hernández en los alrededores de la Fundición vieja. El Cerro del Temeroso (capas con Nerineas), abajo en el fondo hacia la derecha las capas invertidas del Jurásico más moderno y del Cretácico inferior. Más ó menos en el centro de la vista, el camino de Aranzazú, hacia el frente de él la granodiorita, hacia atrás la caliza de Nerineas.



Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA II

LAMINA II

Fig. 1.—Vista desde Concepción hacia el Sur. A la izquierda el margen de la mesa del Cerro de los Tajos formado de capas invertidas casi horizontales del Jurásico y del Cretácico. La loma baja y obscura que se levanta al otro lado de las casas del fondo del valle, inmediatamente encima del lienzo blanco colgado, es la cresta de la roca de granate de la Piedra Cargada. Encima de ella y á la derecha, el Picacho del Abra al otro lado del Valle de Almagre. Desde él baja una loma hasta el margen derecho de la vista. El Picacho del Abra está formado en su parte más alta de caliza blanca con Nerineas. Debajo de ésta se encuentran rocas de wollastonita obscuras, bien estratificadas (Kimeridgiano–Portlandiano), debajo de éstas (á la izquierda de la yuca) calizas claras del Cretácico. Encima de la yuca en el fondo, la masa granodiorítica del Picacho de los Angeles y del Picacho de la Sierpe.

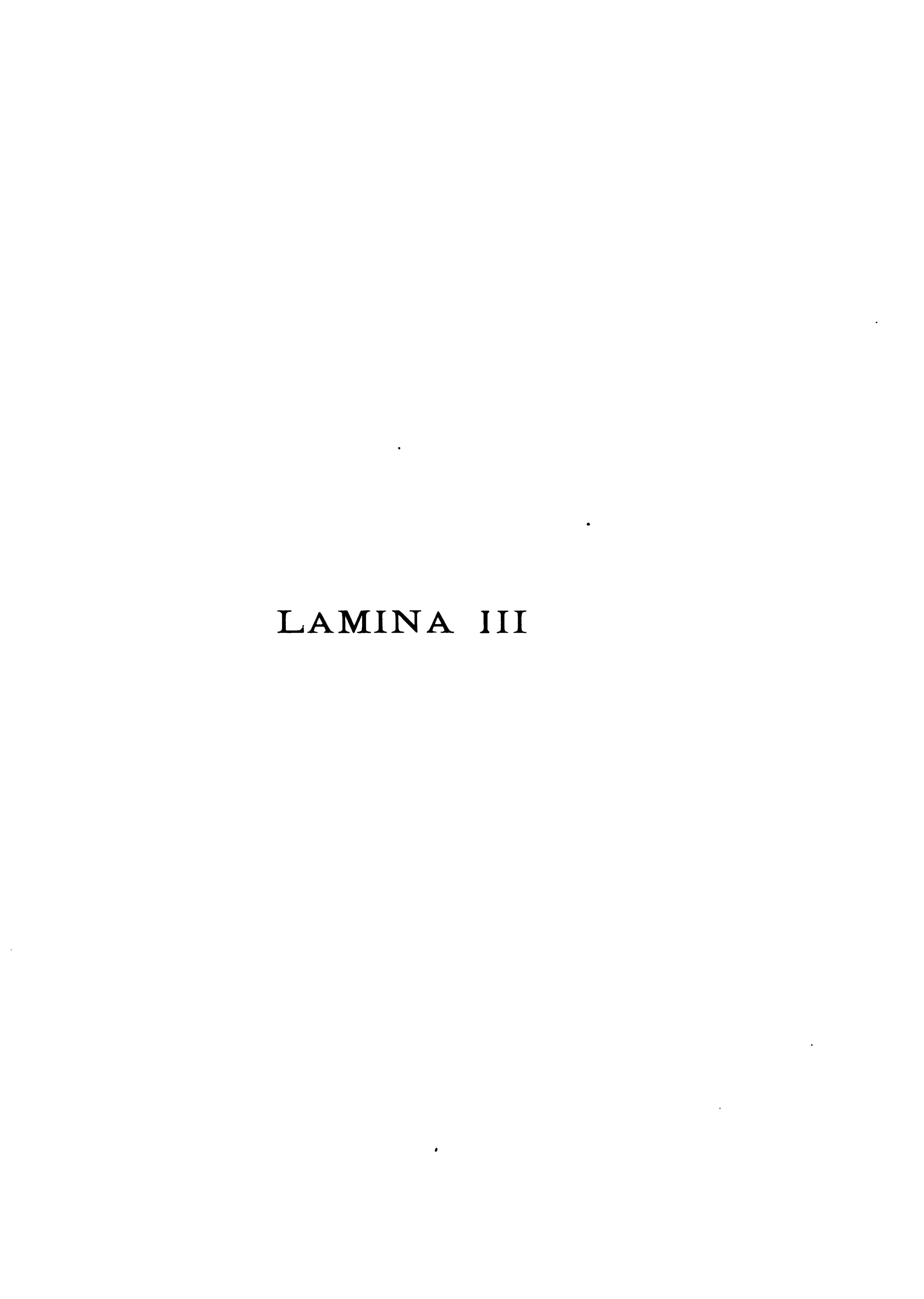
Fig. 2.—Vista hacia la Fundición vieja y la montaña granodiorítica. Punto desde donde se tomó la vista: cerca de los Azules. Encima de las casas á la izquierda de la chimenea blanca á media altura del cerro la masa calcárea cerca de El Carmen. En el margen derecho de la vista el camino de Aranzazú sobre caliza metamorfizada.



Fig. 1.



Fig. 2.



LAMINA III

LAMINA III

Fig. 1.—Cerca de Cabrestante; á la izquierda la entrada del Valle del Almagre. En el centro la serie invertida de capas en la pendiente Norte del Picacho del Abra: en la base calizas claras del Cretácico inferior, encima las capas negras con wollastonita de Kimeridgiano y Portlandiano; en lo más alto las calizas con Nerineas metamorfizadas del Abra. En el margen izquierdo de la vista las capas no alteradas del Cerro de los Tajos separadas por una falla de las anteriores; en el fondo á la derecha el Picacho de los Angeles. (comp. fig. 2, lám. I.)

Fig. 2.—El Cerro del Temeroso. Punto desde donde se tomó la vista: la mina de Las Animas. El camino blanco de Aranzazú indica aproximadamente el límite del contacto. El frente consiste principalmente de granodiorita. Debajo del lugar en donde se pierde á la izquierda el camino en la angostura del valle, se reconoce al frente de la vista el terrero de El Carmen. Respecto á la tectónina del Cerro del Temeroso compárese perfil en el plano de Burckhardt.



Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA IV

N.º 27.—15*

LAMINA IV

Fig. 1.—Vista tomada desde Promotorio hacia la pendiente occidental del Picacho del Abra y hacia el Valle del Arco. Se ve claramente el límite entre las calizas con Nerineas metamorfizadas por el contacto, ásperas, rocallosas y la granodiorita situada debajo de ellas con un declive uniforme. Encima del origen del vallecito blanco situado lo más hacia á la derecha, reconocible por una vereda estrecha se encuentra la altura del Puerto del Arco, justamente en el contacto. De este lado del vallecito todo es granodiorita que se descompone en cubos irregulares.

Fig. 2.—Aranzazú. En el cerro obscuro que domina la vista están los principales criaderos de contacto. Sólo su cima está formada de caliza con Nerineas, su masa restante que mira hacia el observador se compone de granodiorita. A lo largo del contorno derecho del cono se ven terreros de las labores superficiales. Las alturas blancas detrás, á la derecha, están formadas por calizas con Nerineas metamorfizadas por contacto. Entre ellas y el cono granodiorítico pasa el camino de Mazapil, visible en parte un poco á la derecha encima de las primeras casas de servicio. Se reconoce también á la derecha en el pie del cono el terrero del Socavón General. La mina San Carlos se encontraría un poco más allá del margen derecho de la vista, detrás de los jacales blancos; el terrero grande del margen izquierdo de la vista pertenece á El Placer. Todo el primer término está formado de granodiorita.



Fig. 1.



Fig. 2.



LAMINA V

LAMINA V

Fig. 1.—Punto desde donde se tomó la vista: El Picacho del Abra. A la derecha la depresión del Puerto del Arco en la caliza con Nerineas metamorfizada; encima hacia el Oeste el Picacho de los Angeles formado también de ella; un poco más hacia atrás á la derecha la granodiorita. La vista muestra una intercalación más rica en grafita varias veces plegada en la caliza con Nerineas blanca metamorfizada. Empieza en el pequeño cerro á la izquierda y continúa hasta el margen inferior de la vista. (La vista no está retocada.) (Comp. p. 64.)

Fig. 2.—Fragmentos de una intercalación de una piedra córnea granatífera en el mármol cristalino de grano grueso, del camino de Aranzazú. Estos fragmentos fueron rotos por efecto de tracción y movidos respecto á su posición primitiva. (Comp. fig. 2, lám. VI.)



Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA VI

LAMINA VI

Fig. 1.—Vista tomada desde la boca del socavón profundo hacia la localidad de vesuviana en el camino de Aranzazú. Abajo del camino resalta la granodiorita desagregada en cubos grandes irregulares; encima y á la izquierda caliza con Nerineas blanca metamorfizada.

Fig. 2.—Numerosas cintas de roca córnea granatoide de un espesor muy variado, plegadas, estiradas y en parte rotas en el mármol cristalino de grano grueso del camino de Aranzazú. (Comp. fig. 2, lám. V.)



Fig. 1.



Fig. 2.

LAMINA VII

LAMINA VII

Fig. 1.— Roca marginal del Valle del Arco á una distancia de 3 m. del contacto. Amplificación × 20. Fenocristales de plagioclasa zonal grande. En la pasta fundamental principalmente formada de feldespato, se encuentra mucha hornblenda, biotita é ilmenita.

Fig. 2.—Canto de la pared de la Fundición vieja. Granodiorita de biotita y hornblenda con pyroxena. Amplificación × 10. La figura corresponde á un lugar de la lámina más rico en silicatos obscuros.

Fig. 3.—Roca marginal del Puerto del Arco á pocos metros del contacto. Granodiorita pyroxénica pobre en mica con mucho cuarzo y ortoclasa. Amplificación × 24, nicols +.

Fig. 4.—De la parte superior del camino de Aranzazú cerca del contacto, granodiorita de mica y hornblenda con estructura granofírica. Amplificación × 24, nicols +.

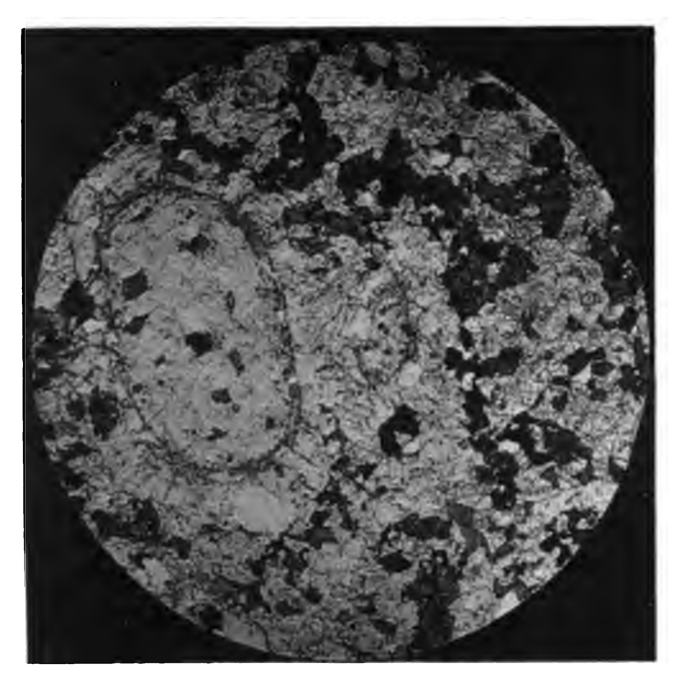


Fig. 1.

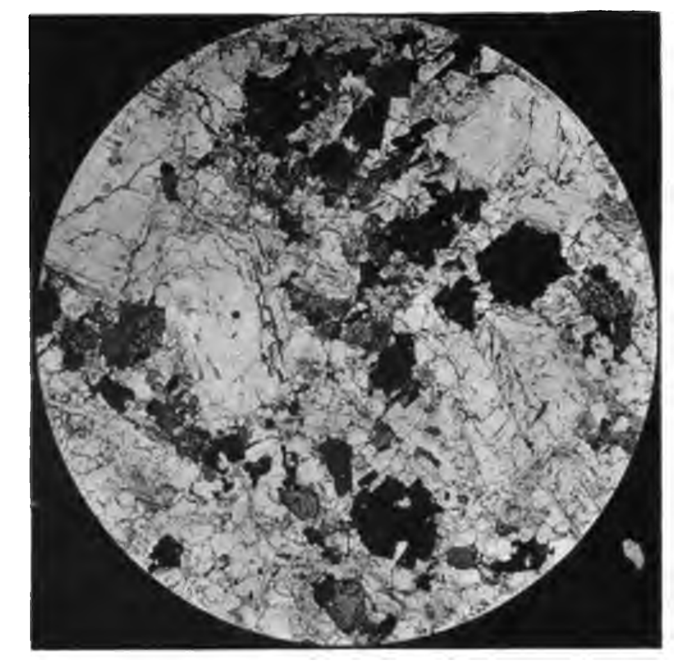


Fig. 2.



Fig. 3.

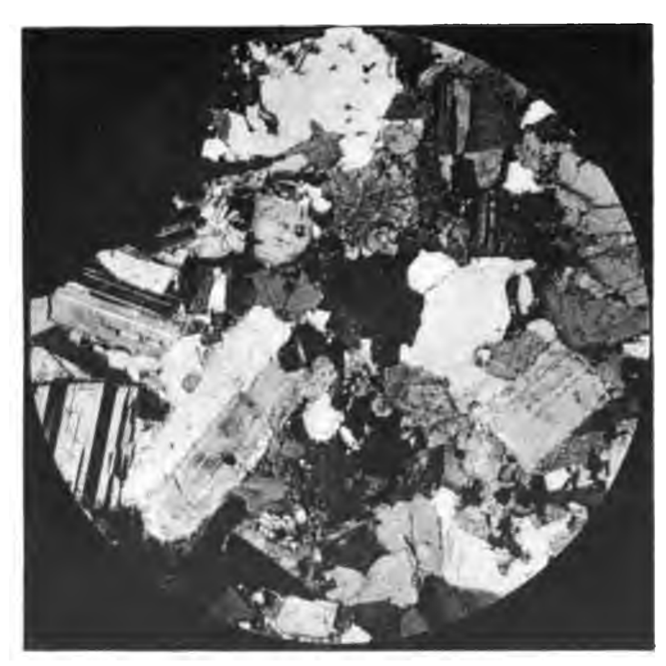


Fig. 4.

LAMINA VIII

N.º 27.—16*

LAMINA VIII

Fig. 1.—Plagioclasa fibrosa de la localidad de vesuviana en el camino de Aranzazú. Amplificación × 20. En varios haces de fibras de plagioclasa se ven fenocristales de diopsida y titanita. Los granos más obscuros netamente limitados son titanita, siendo todo el resto diopsida caracterizada por mayor refracción reconocible en parte por su crucero. Granate no se encuentra en la figura. (Comp. p. 39.)

Fig. 2.—Roca eruptiva alterada por reabsorción de cal de la Piedra Cargada. Amplificación × 20. En el centro del margen derecho un fenocristal de granate irregular y bastante grande, debajo de él un corte con ángulos agudos á través de un agregado de diopsida. feldespato y titanita en la forma de un cristal de diopsida. El fenocristal obscuro grande cerca del margen inferior y otras numerosas manchas obscuras son aglomeraciones turbias de titanita; á la izquierda de éstas un granate atravesado por diopsida, encima de éste un poco abajo del centro del margen izquierdo, un agregado de mayor tamaño formado por granos de diopsida. El fondo claro consiste de feldespato. (Comp. p. 44.)

Fig. 3.—De la cinta de granate en el Puerto del Arco. Amplificación × 20. Pseudomorfosis de granate según plagioclasa. La pasta fundamental granulosa está formada de cuarzo, granate y un poco de diopsida. (Comp. p. 52.)

Fig. 4.—Ortoclasa íntimamente ligada con granate pardo como en una perimorfosis, de la Fundición vieja. Amplificación × 27. Los núcleos claros con relieve poco marcado, las conchas y granos son granate, las capitas obscuras aparentemente de grano fino son ortoclasa kaolinizada. En el centro del margen derecho un poco de espato calizo; al lado un poco de magnetita. En el centro y en el margen inferior un hueco en la lámina. (Comp. p. 30.)

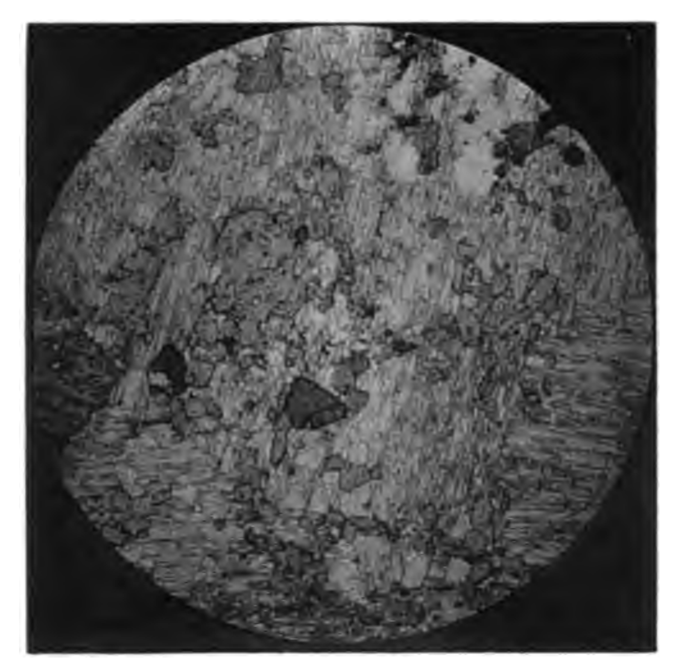


Fig. 1.

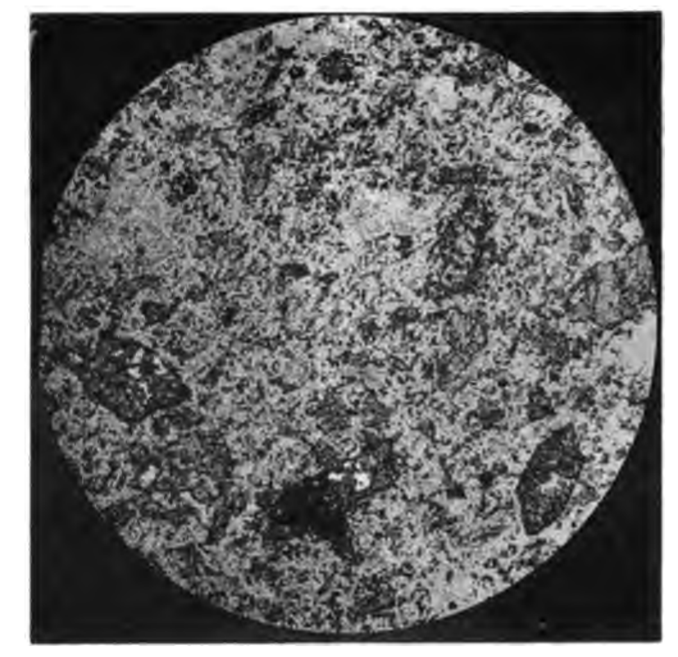


Fig. 2.

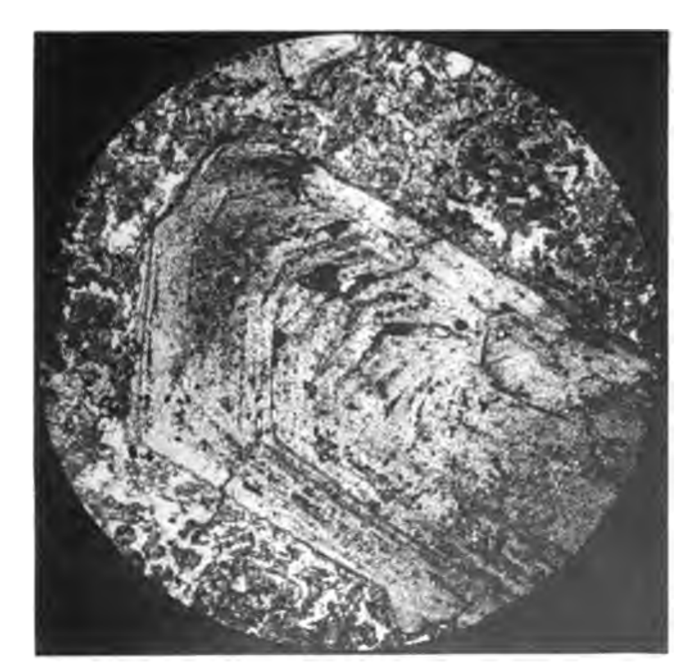


Fig. 3.

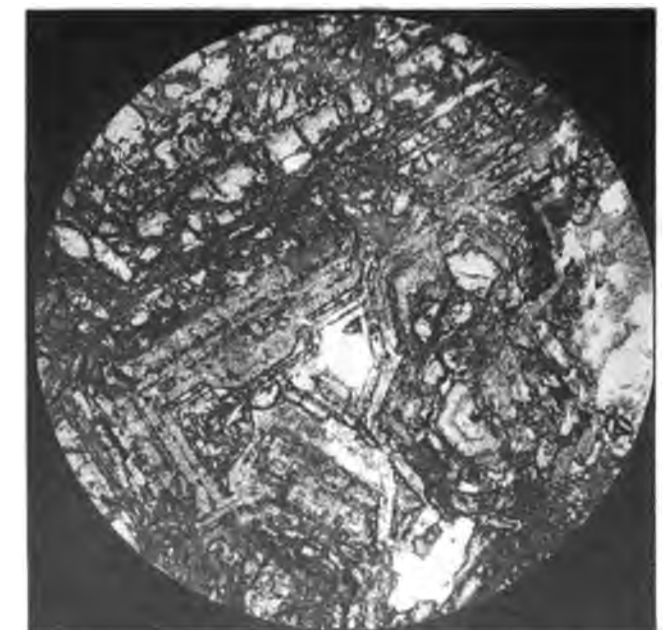
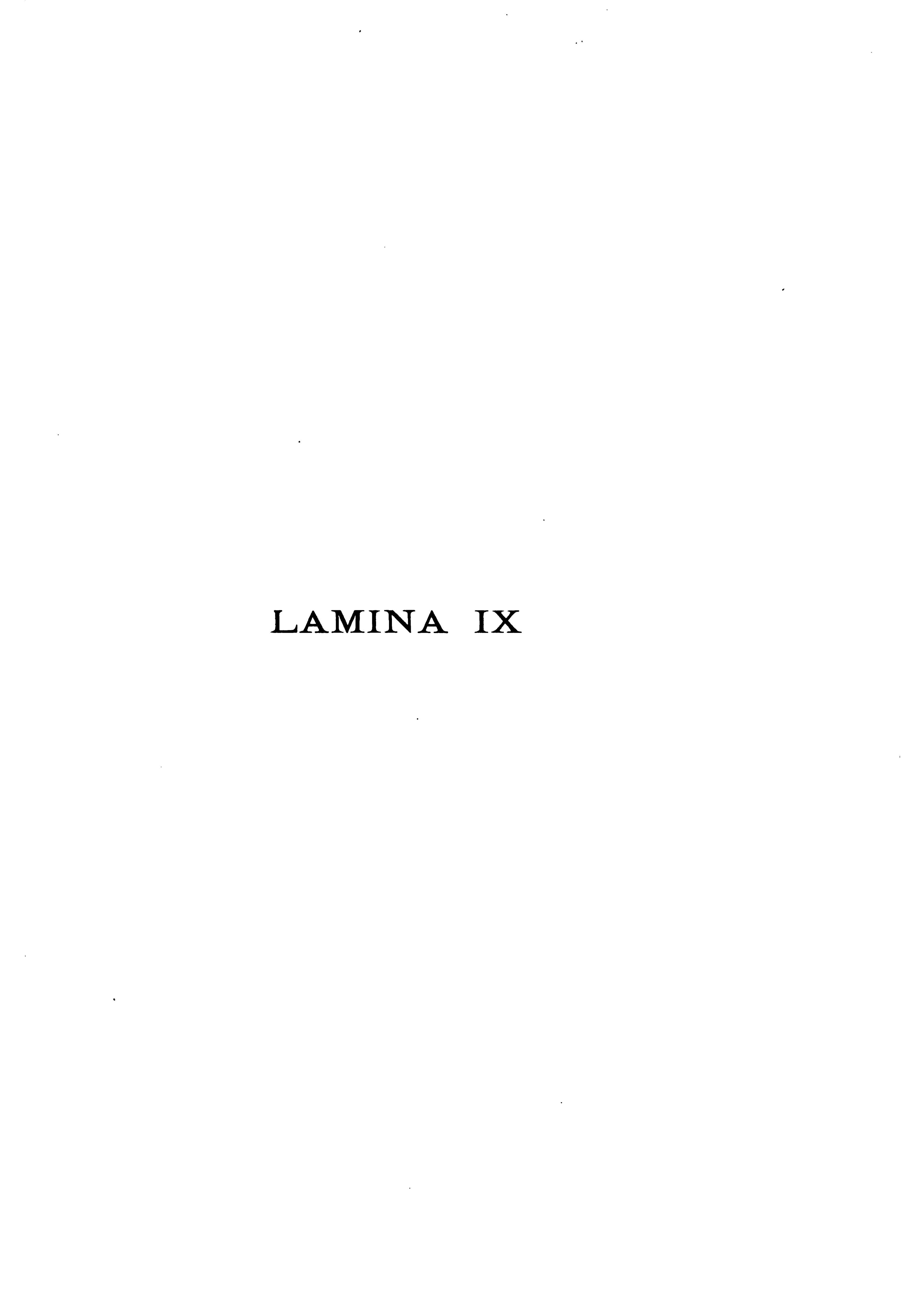


Fig. 4.



LAMINA IX

LAMINA IX

Fig. 1.—Pizarra calcárea grafítica del Portlandiano rica en cuarzo, del Cañón del Almagre. Amplificación × 20. Muestra la transformación en piedra córnea wollastonítica saliendo de grietas finas. Los puntitos blancos son cuarzo, las estrías y bolsitas blancas por lo general wollastonita. Arriba á la izquierda una separación de capas plegada y rellenada de wollastonita. La mancha blanca grande es un hueco en la lámina. (Comp. p. 76.)

Fig. 2.—Roca de silicato y cal de la Piedra Cargada. Amplificación × 21. Secciones transversales poligonales de granate. Numerosas agujas de vesuviana y granos y aglomeraciones de diopsida no muy claros, turbios por inclusiones pequeñas, en parte casi opacos por limonita; en el margen derecho encima de una aglomeración una sección transversal más grande y turbia de diopsida. La pasta fundamental está formada por espato calizo. (Comp. p. 87.)

Fig. 3.—Sustitución de diopsida por granate y cuarzo. Aranzazú. Amplificación × 19. Arriba (claro) granate agrietado, debajo de él (obscura) diopsida; en esta última venas de granate en dirección transversal y longitudinal, claras, con relieve marcado y venitas blancas de cuarzo escalonadas por lo general en dirección oblicua con las fibras. (Comp. p. 88.)

Fig. 4.—Roca de granate, magnetita y cuarzo con zoisita y hornblenda verde de Promotorio. Amplificación × 27. El mineral negro es magnetita; los granos arredondados con margen ancho en relieve marcado son granate, siendo blanco el cuarzo. Hacia el margen izquierdo se encuentran en la masa cuarzosa, fibras en parte de hornblenda, en parte de espato calizo y dos pequeños granos de zoisita punteados por inclusiones. Zoisitas de mayor y menor tamaño ricas en inclusiones distintas del granate por su margen más delicado y su forma alargada incompletamente prismática se observan cerca del centro de la figura. (Comp. p. 108.)

Fig. 5.—Pseudomorfosis de calcedonia probablemente según cuarzo. Cabrestante. Amplificación × 250. La estrella de 6 rayos en bálsamo de Canadá muestra fenómenos claros de reflexión total marginal, los cuales indican que los rayos de la estrella yacen alternativamente en planos distintos por presentar alternativamente un margen obscuro ó claro, encontrándose por lo tanto el objetivo para los unos en posición alta, para los otros en posición baja. La formación puede por lo tanto ser considerada como una

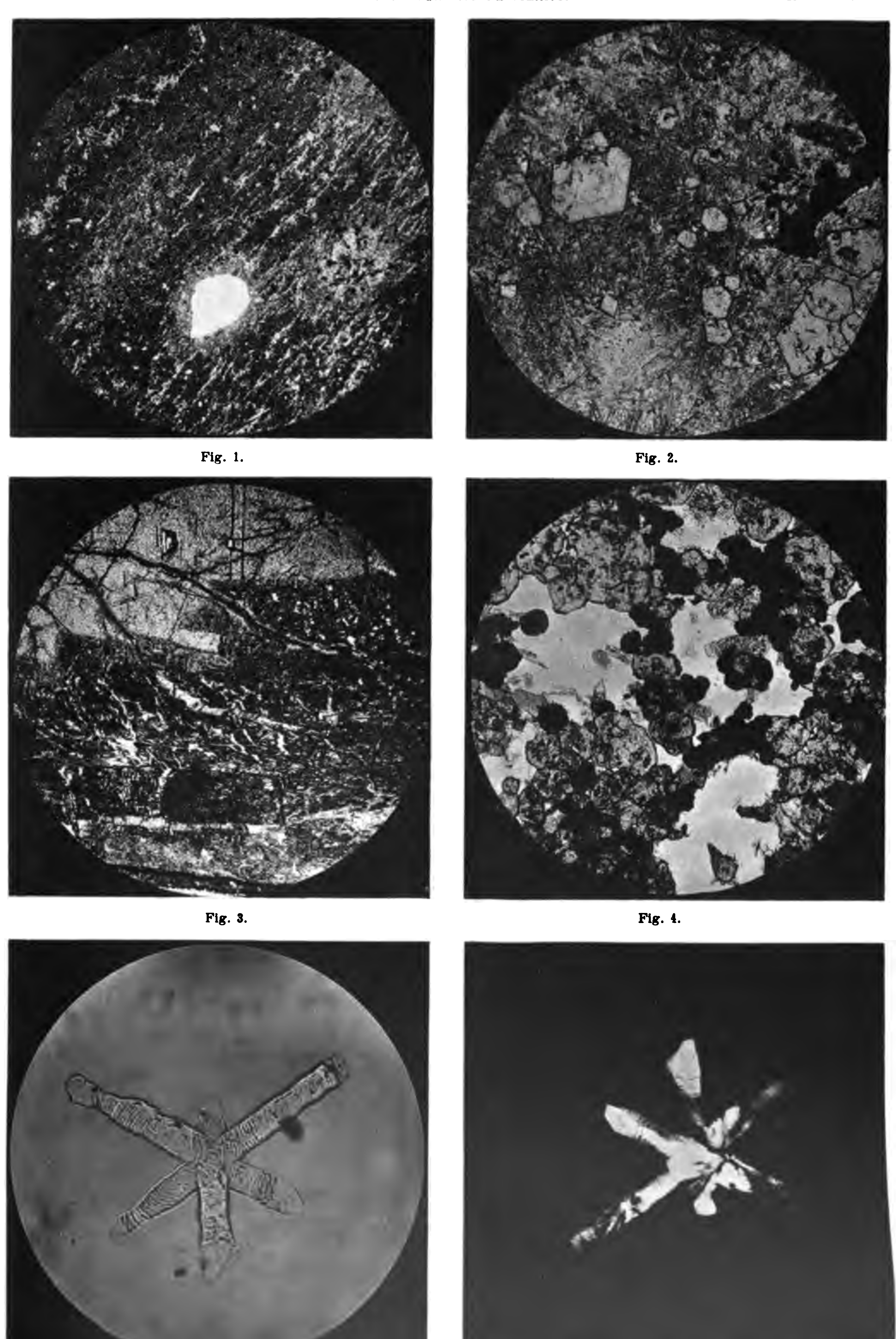


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

combinación de dos esqueletos trigonales de los cuales aparece el uno girado 60° alrededor de la normal supuesta sobre el plano de la figura, con respecto al otro como en un gemelo de cuarzo según la ley de Dauphinée. Las líneas transversales obscuras y claras muestran la estructura zonal de capas con refracción variada alrededor de dos centros de los cuales ninguno se encuentra en el centro de la estrella. (Comp. p. 106.)

Fig. 6.—Lo mismo que en la fig. 5 con nicols +. Muestra al lado de estructura concéntrica también las de fibras radiales; en comparación con la anterior esta figura está girada 180°.

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

BOLETIN (4º)

* Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 21 lám.
* Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S. O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895.—46 pp., 1 lám.
* Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán, por C. Sapper.—1896.—58 pp., 6 lám
* Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897.—272 pp., 5 lám.
* Núms. 7, 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897.—184 pp., 14 lám.
* Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, por R. Aguilar y Santillán.—1898.—158 pp.
* Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana, por José G. Aguilera.—1898.—158 pp.
* Núm. 12.—El Real del Monte, por E. Ordóñez y M. Rangel.—1899.—108 pp., 26 lám.
* Núm. 13.—Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México, por Emilio Böse.—1899.—54 pp., 3 lám.
* Núm. 14.—Las Rhyolitas de México (Primera parte), por E. Ordóñez.—1900.—78 pp., 6 lám.
* Núm. 15.—Las Rhyolitas de México (Segunda parte), por E. Ordóñez.—1901.—78 pp., 6 lám.

Núm. 16.—Los Criaderos de fierro del Cerro del Mercado en Durango, por M. Rangel, y de la Hacienda de Vaquerías, Estado de Hidalgo, por J. D. Villarello y E. Böse.—1902.—144 pp., 5 lám.

Núm. 17.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana, completada hasta 1904, por R. Aguilar y Santillán.—1908.—XIII-330 pp.

Núm. 20.—Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco, por el Dr. E. Böse.—1905.—116 pp., 9 lám.

Núm. 21.—La Faune Marine du Trias Supérieur de Zacatecas par le Dr. C. Burckhardt avec la collaboration du Dr. S. Scalia.—1905.—44 pp., 8 pl.

Núm. 22.—Sobre algunas faunas terciarias de México, por el Dr. E. Böse.—1906.—96 pp., 12 lám.

Núm. 23.—La faune jurassique de Mazapil, Zac., par le Dr. C. Burckhardt.—1906.—216 pp., 43 pl.

Núm. 24.—La fauna de moluscos del Senoniano de Cárdenas, S. L. P., por el Dr. E. Böse.—1906.—95 pp., 18 lám.

Núm. 25.—Monografía Geológica y Paleontológica del Cerro de Muleros, cerca de Ciudad Juárez, Estado de Chihuahua y descripción de la Fauna Cretácea de la Encantada, cerca de Placer de Guadalupe, Estado de Chihuahua, por el Dr. E. Böse.—1910.— 196 pp., 50 lám.

Núm. 26.—Algunas regiones petrolíferas de México, por el Ing. J. D. Villarello.—1908.—122 pp. 3 lám.

Núm. 27.—La Granodiorita de Concepción del Oro en el Estado de Zacatecas y sus formaciones de contacto, por el Dr. Alfred Bergeat.—1910.—109 pp., 9 láms. y 15 figs.

Núm. 28.—Las aguas subterráneas en el lado meridional de la Cuenca de México, por el Ing. J. D. Villarello.—12 láminas y 1 croquis geológico (1:100,000).—Informe sobre las aguas del Río de la Magdalena, por el Prof. J. S. Agraz [*En prensa*].

PARERGONES (8º)

* Tomo I. Nº 1.—Los temblores de Zanatepec, Oaxaca.—Estado actual del Volcán de Tacaná, Chiapas, por Emilio Böse.—1903.—25 pp., 4 lám.
* Núm. 2.—Fisiografía, Geología é Hidrología de los alrededores de La Paz, Baja California, por E. Angermann. —El área cubierta por la ceniza del Volcán de Santa María, Octubre de 1902, por Emilio Böse.—1904.—26 pp. 3 lám.

Núm. 3.—El Mineral de Angangueo, Michoacán, por E. Ordóñez.—Análisis de una muestra de granate del Mineral de Pihuamo, Jalisco, por J. D. Villarello.—Apuntes sobre el Paleozoico en Sonora, por E. Angermann.—1904.—34 pp., 2 lám.

Núm. 4.—Estudio de la teoría química propuesta por el Sr. Andrés Almaraz para explicar la formación del petróleo de Aragón, México, D. F., por J. D. Villarello.—El fierro meteórico de Bacubirito, Sinaloa, por E. Angermann.—Las aguas subterráneas de Amozoc, Puebla, por E. Ordóñez.—1904.—24 pp., 1 lám.

Núm. 5.—Informe sobre el temblor del 16 de Enero de 1902 en el Estado de Guerrero, por los Dres. E. Böse y E. Angermann.—Estudio de una muestra de mineral asbestiforme procedente del Rancho del Ahuacatillo, Distrito de Zinapécuaro, E. de Michoacán, por el Ing. J. D. Villarello.—1904.—26 pp.

Núm. 6.—Estudio de la hidrología subterránea de la región de Cadereyta Méndez, E. de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarello.—1904.—58 pp., 2 lám.

Núm. 7.—Estudio de una muestra de grafita de Ejutla, Estado de Oaxaca, por el Ing. J. D. Villarello.—Análisis de las cenizas del Volcán de Santa María, Guatemala, por el Ing. E. Ordóñez.—1904.—26 pp.

Núm. 8.—Hidrología subterránea de los alrededores de Querétaro, por el Ing. J. D. Villarello.—1905.—56 pp., 3 láminas y 2 figuras.

Núm. 9.—Los Xalapazcos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Primera parte).—1905.—54 pp., 1 plano y 4 lám.

Núm. 10.—Los Xalapazcos del Estado de Puebla, por el Ing. E. Ordóñez (Segunda parte).—1905.—45 pp., 3 planos y 8 lám.

Tomo II.—Nº 1.—Explicación del Plano Geológico de la Región de San Pedro del Gallo, Estado de Durango, por el Dr. Phil. Ernesto Angermann.—Sobre la Geología de la Bufa, Mapimí, Estado de Durango, por Ernesto Angermann, Dr. Phil.—Notas Geológicas sobre el Cretáceo en el Estado de Colima, por el Dr. E. Angermann.—1907.—35 pp., 3 lám.

* Agotado.

Núm. 2.—Sobre algunos fósiles pleistocénicos recogidos por el Sr. Dr. E. Angermann, en la Baja California, por el Dr. E. Böse.—Sobre la aplicación de la Potasa cáustica á la preparación de fósiles, por Emilio Böse y Víctor von Vigier.—Sobre las rocas fosforíticas de las Sierras de Mazapil y Concepción del Oro, Zacatecas, por el Dr. Carlos Burckhardt.—1907.—31 pp., 1 lám.

Núm. 3.—El Volcán Jorullo, por el Ingeniero de Minas Andrés Villafaña.—1907.—58 pp., 8 lám.

* Números 4, 5 y 6.—El tèmblor del 14 de Abril de 1907, por el Dr. Emilio Böse, é Ingenieros A. Villafaña y J. García y García.—1908.—124 pp., 43 lám. y 1 cuad.

Núm. 7.—El Valle de Cerritos, Estado de San Luis Potosí, por el Ing. Ezequiel Ordóñez, p. 263-273.—Fuente termal en Cuitzeo de Abasolo, Estado de Guanajuato, por el Ing. Andrés Villafaña, p. 277-287, láminas LVI—LVII.—1908.

Núm. 8.—Estudio hidrológico de la región de Rioverde y Arroyo Seco, en los Estados de San Luis Potosí y Querétaro, por el Ing. Trinidad Paredes, p. 289-337, lám. LVIII.—1909.

Núm. 9.—Hidrología subterránea de los alrededores de Pátzcuaro, Estado de Michoacán, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 339-362.—El hundimiento del Cerro de Sartenejas, en los alrededores de Tetecala, Estado de Morelos, por el Ing. T. Flores, pp. 363-384, láminas LIX á LXII.—1909.

Núm. 10.—Catálogo de los temblores (macroseismos) sentidos en la República Mexicana, durante los años de 1904 á 1908, pp. 389-467.—1909.

Tomo III.—Nº 1.—El Pozo de Petróleo de Dos Bocas, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 5-112, láms. I-XXXVII.—1909.

Núm. 2.—Estudio geológico de los alrededores de una parte del Río Nazas en relación con el proyecto de una presa en el cañón de Fernández, por el Dr. C. Burckhardt é Ing. J. D. Villarello, pp. 117-135, láms. XXVIII-XXXVI.—1909.

Núm. 3.—Estudio hidrológico del Valle de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo, por el Ing. Trinidad Paredes, pp. 141-172, láms. XXXVII-XLIV.—Catálogo de los temblores (macro y microseismos) sentidos en la República Mexicana, durante el primer semestre de 1909, pp. 173-199.—1909.

Núm. 4.—Hidrología subterránea de la Comarca lagunera del Tlahualilo, por el Ing. J. D. Villarello, pp. 201-251, láms. XLV-XLVIII.—1910.

Núm. 5.—Nuevos datos para la Estratigrafía del Cretácico en México, por el Dr. E. Böse. pp. 257-280.—Nuevos datos sobre el Jurásico y el Cretácico en México, por el Dr. C. Burckhardt, pp. 281-301.—1910.

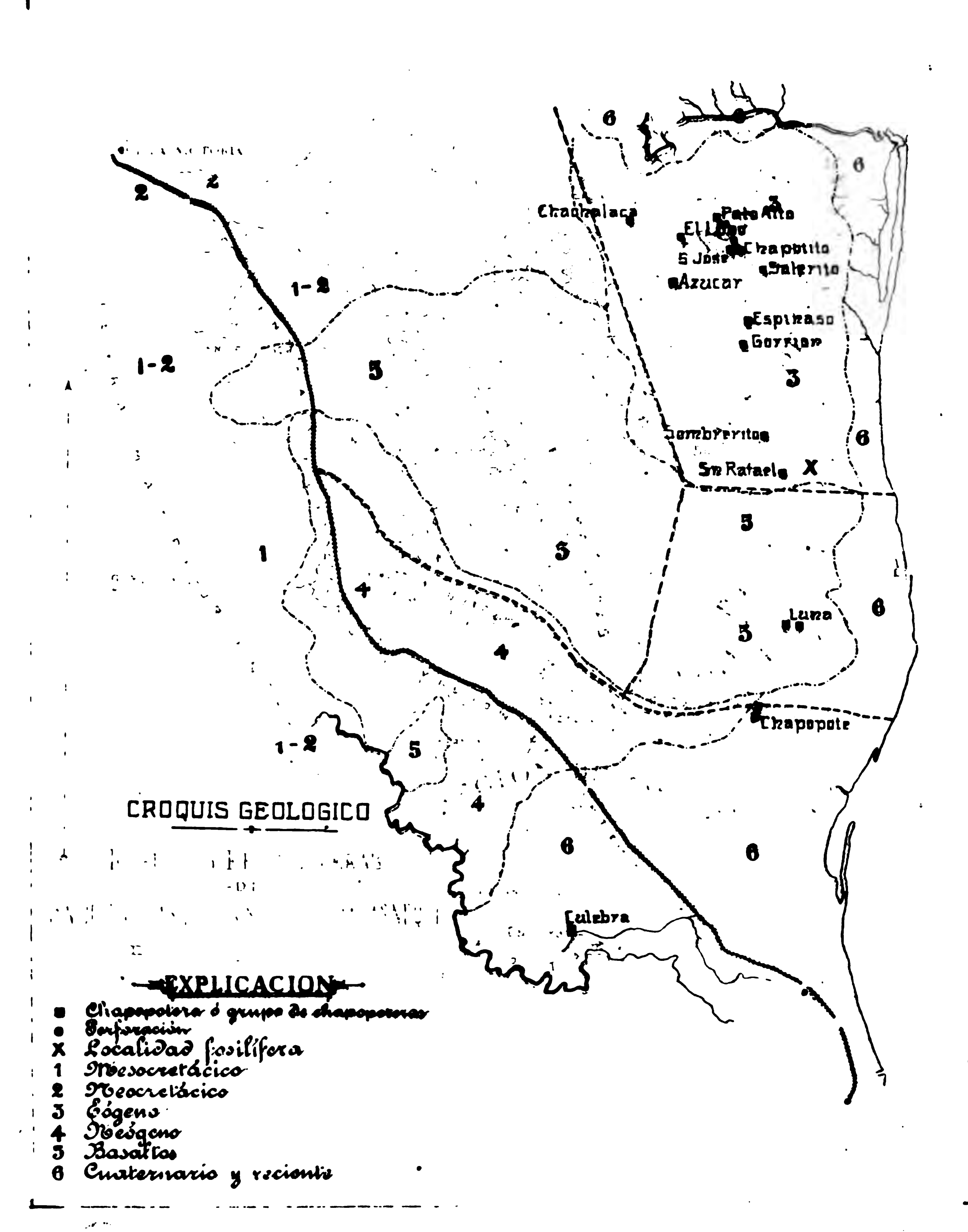
Núm. 6.—Estudio Geológico de la región de San Pedro del Gallo, Durango, por el Dr. C. Burckhardt, pp. 307-357. láms. XLIX-LI (Plano Geológico, 1:25,000) y 9 figs.—Plesiosaurus (Polyptychodon?) Mexicanus Wieland, por el Dr. G. R. Wieland, pp. 359-365, lám. LII.—1910.

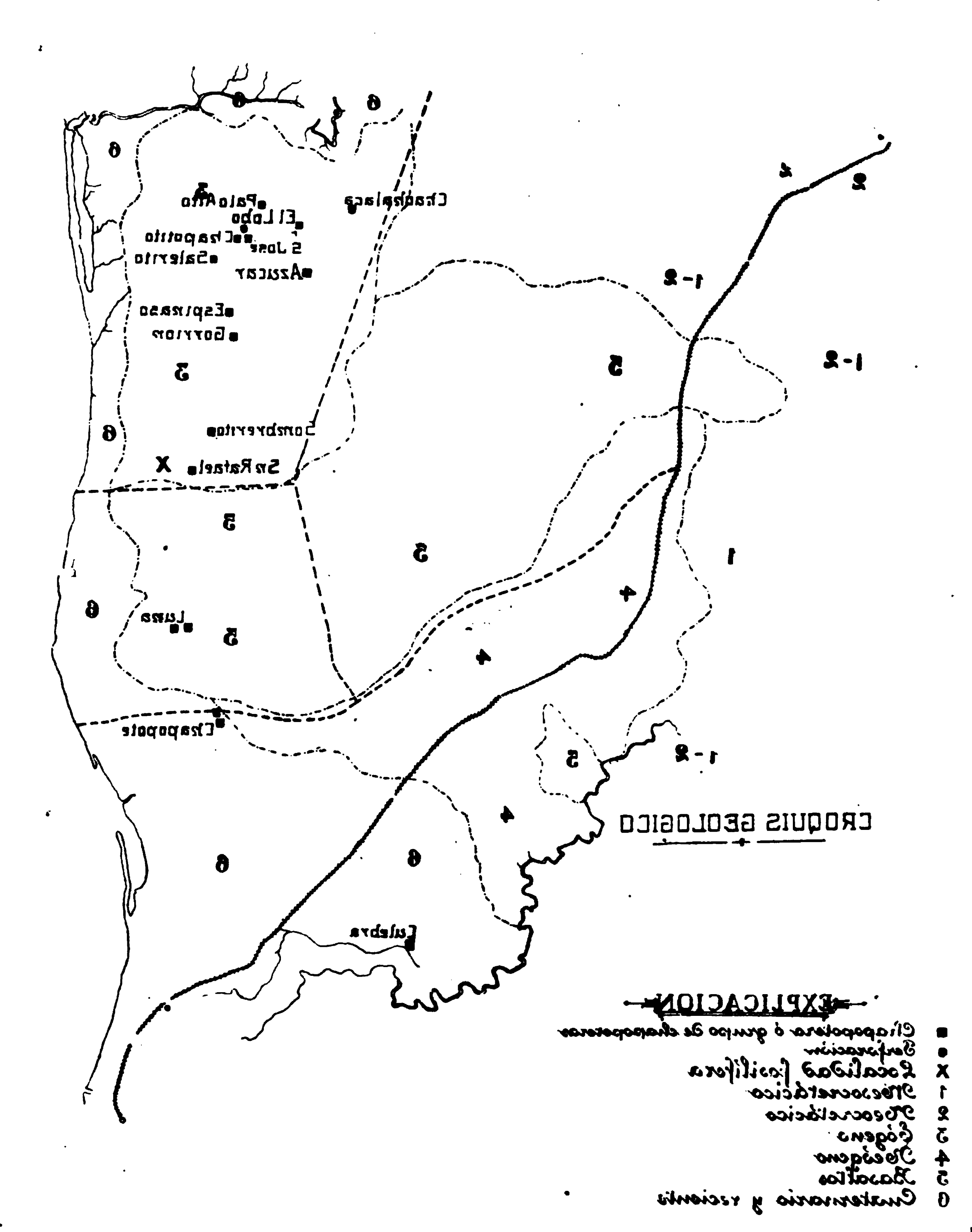
Núm. 7.—Informe acerca de una excursión geológica preliminar efectuada en el Estado de Yucatán, por Jorge Engerrand y Fernando Urbina, con la colaboración del Ing. J. Baz y Dresch, pp. 369-424, láms. LIII-LXXIV.—Estudio químico y óptico de una labradorita del Pinacate, Sonora, por el Ing. Y. S. Bonillas, pp. 425-432, lám. LXXV—1910.

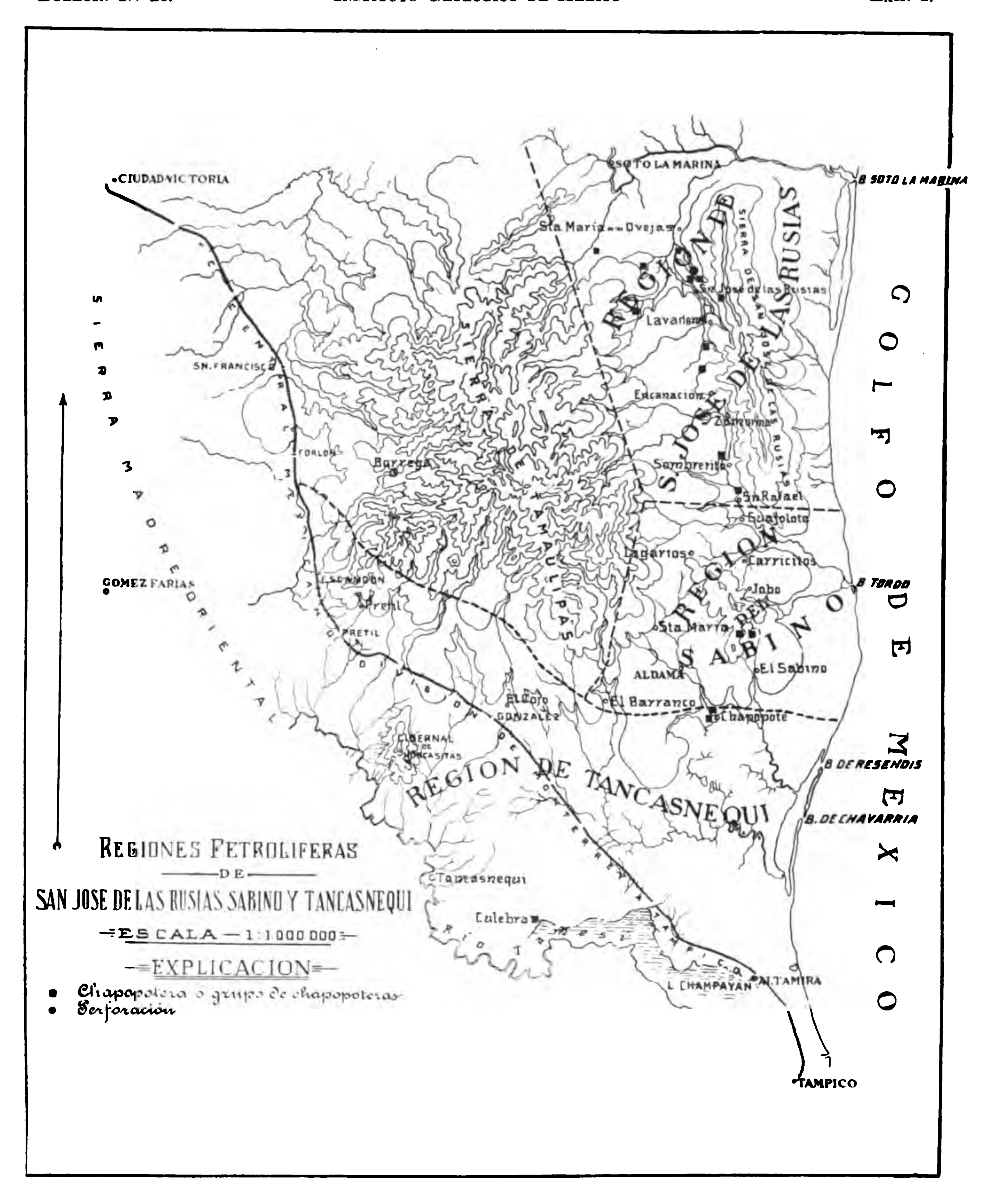
Núm. 8.—Catálogo de los temblores (macroseismos) sentidos en la República Mexicana y Microseismos registrados en la Estación Seismológica Central, Tacubaya, D. F., durante el segundo semestre de 1909.—Reconocimiento de algunos criaderos de fierro del Estado de Oaxaca, por Y. S. Bonillas.—Láms. LXXVI-LXXIX [*En prensa*].

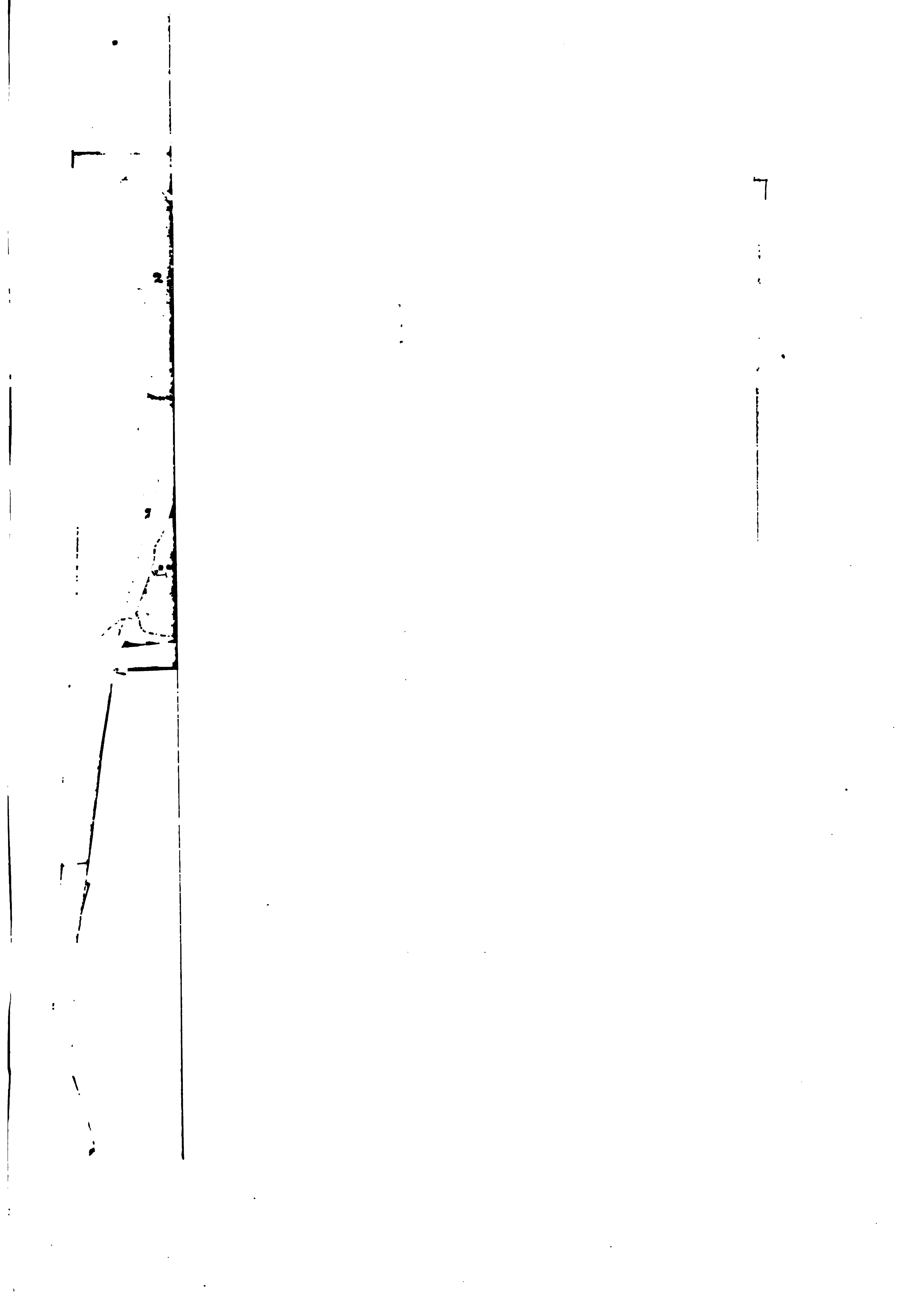
* Agotado

INDICE DE MATERIAS


Chachalaca
Palo Alto
El Llano
Chapotito
S José
Salerito
Azucar
Espinaso
Gorrion
Sombreritos
Sn Rafael
Luna
Chapopote
Culebra
CROQUIS GEOLOGICO
EXPLICACION
■ Chapopotera ó grupo de chapopoteras
● Perforación
X Localidad fosilífera
1 Mesocretácico
2 Neocretácico
3 Eógeno
4 Neógeno
5 Basaltos
6 Cuaternario y reciente


CROQUIS GEOLOGICO
Palo Alto
El Lobo
Chapotito
S Jose
Salerito
Azucar
Espinaso
Gorrion
Chachalaca
Sombrerito
Sn Rafael
Luna
Chapopote
Culebra
EXPLICACION
■ Chapopotera ó grupo de chapopoteras
● Perforación
X Localidad fosilífera
1 Mesocretácico
2 Neocretácico
3 Eógeno
4 Neógeno
5 Basaltos
6 Cuaternario y reciente


CIUDAD VICTORIA
SOTO LA MARINA
B. SOTO LA MARINA
Sta. Maria
Ovejas
REGION DE SAN JOSE DE LAS RUSIAS
SIERRA DE SAN JOSE DE LAS RUSIAS
S. José de las Rusias
Lavaderos
Encarnacion
Zamorina
Sombrerito
San Rafael
Guajolote
G O L F O D E M E X I C O
SIERRA MADRE ORIENTAL
SN. FRANCISCO
FORLON
Barrega
SIERRA DE TAMAULIPAS
GOMEZ FARIAS
Lagartos
Carricitos
B. TORDO
Jobo
REGION DEL SABINO
Sta. Maria
ALDAMA
El Sabino
Pretil
PRETIL
El Coyo
GONZALEZ
El Barranco
Chapopote
BERNAL DE HORCASITAS
REGION DE TANCASNEQUI
B. DE RESENDIS
B. DE CHAVARRIA
Tancasnequi
Culebra
RIO TAMESI
L. CHAMPAYAN
TAMPICO
REGIONES PETROLIFERAS
DE
SAN JOSE DE LAS RUSIAS SABINO Y TANCASNEQUI
ESCALA — 1:1 000 000
EXPLICACION
Chapopotera ó grupo de chapopoteras
Perforación



CROQUIS GEOLOGICO

Chapopote
Potrerillos
Buenavista
Sayula
Palapan
Ixhuatlan
La Cantera
Medias Aguas
Naranjo
13°
15°
15°
20°
30°
30°
30°

—EXPLICACION—

- Chapopotera ó grupo de chapopoteras
- Perforación ó grupo de perforaciones

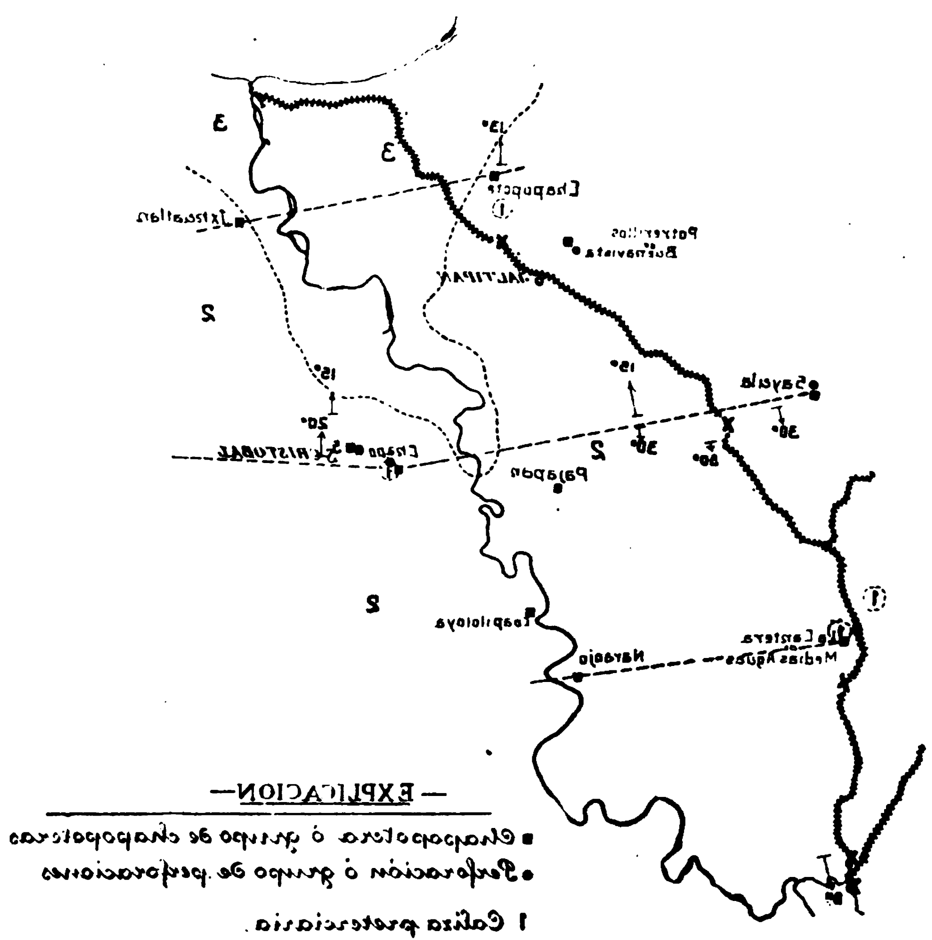
1 Caliza preterciaria.

2 Neógeno cubierto en parte por el 3.

3 Cuaternario y Reciente

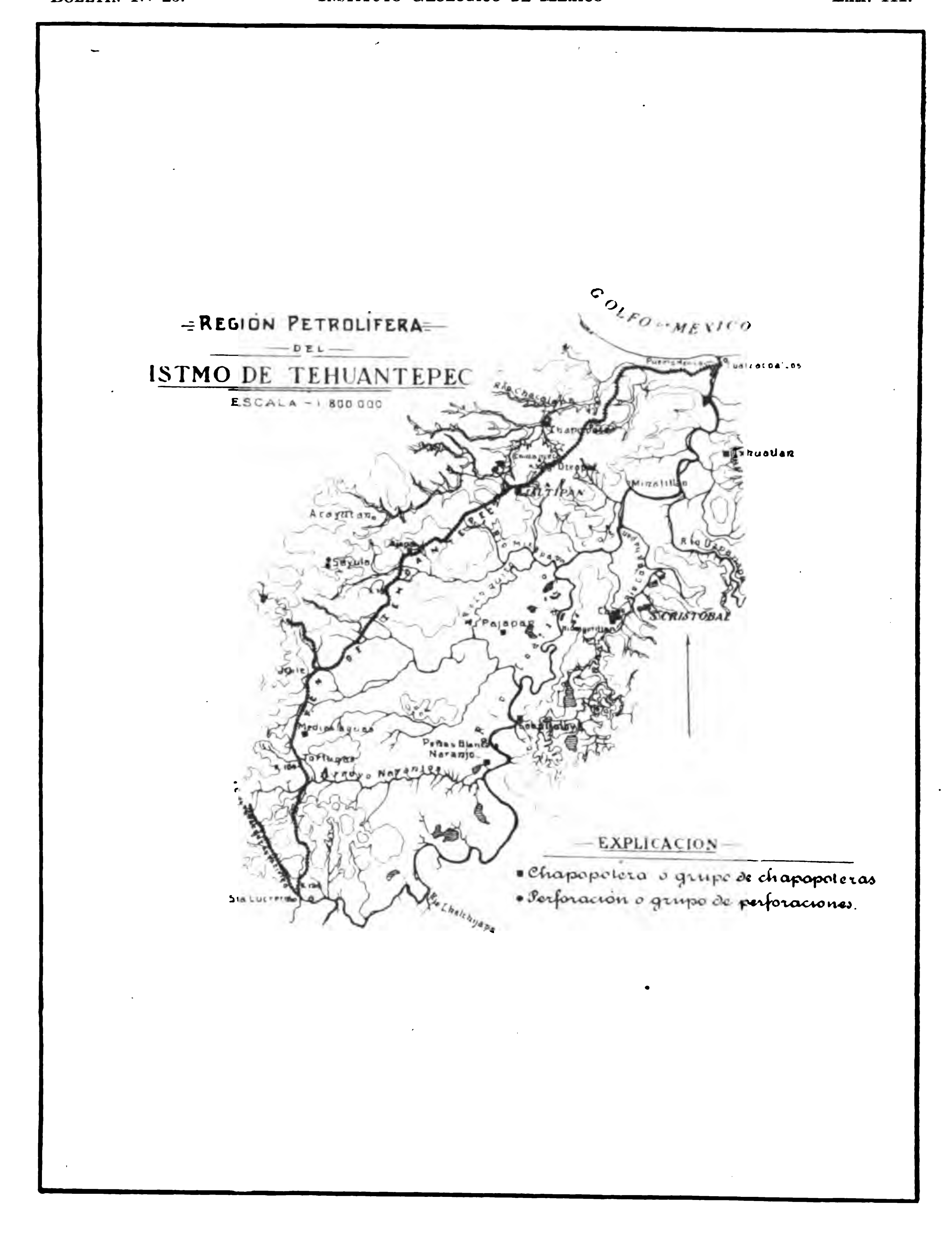
x Localidad fosilífera

CROQUIS GEOLOGICO

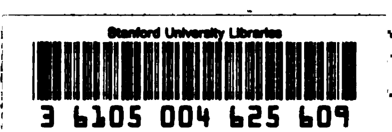


—EXPLICACION—

- ■ Chapopotera ó grupo de chapopoteras
- • Perforación ó grupo de perforaciones
- 1 Caliza preterciaria.
- 2 Neógeno cubierto en parte por el 3.
- 3 Cuaternario y Reciente
- x Localidad fosilífera


REGIÓN PETROLÍFERA
DEL
ISTMO DE TEHUANTEPEC
ESCALA – 1 800 000
GOLFO DE MEXICO
Minatitlan
Acayucan
Sayula
Pajapas
S. CRISTOBAL
Medias Aguas
Tortugas
Peñas Blancas
Naranjo
EXPLICACION
Chapopotera o grupo de chapopoteras
Perforación o grupo de perforaciones.




Stanford University Libraries
3 6105 004 625 609

